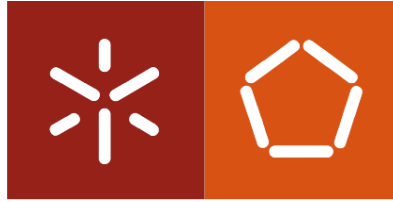


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Vânia Daniela Lopes Martins

Argamassas Sustentáveis de Baixa Retração

Outubro 2012



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Vânia Daniela Lopes Martins

Argamassas Sustentáveis de Baixa Retração

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor José Luís Barroso de Aguiar

Co-Orientador
Professor Raúl Figueiro

DECLARAÇÃO

Vânia Daniela Lopes Martins

Correio eletrónico: banocasmartins@hotmail.com

Tlm: 966929624

Número do bilhete de identidade:13009519

Título da dissertação:

Argamassas Sustentáveis de Baixa Retração

Ano de Conclusão:2012

Orientador:

Professor Doutor José Luís Barroso de Aguiar

Co – Orientador:

Professor Raúl Fangueiro

Designação do Mestre:

Ciclo de Estudos Integrado em Engenharia Civil

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Civil

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE A DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE

Guimarães, ____/____/____

Assinatura:_____

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação de mestrado não poderia ser conseguida sem o apoio, ajuda de pessoas excecionais que lutam incansavelmente por um trabalho merecido e excelente.

Não posso deixar de agradecer ao meu orientador Professor Doutor José Luís Barroso de Aguiar, pela sua atenção, incentivo, disponibilidade, acompanhamento e partilha de ideias que vêm já de um acumular de muito trabalho e esforço, a si Professor um muito obrigado.

À Engenheira Sandra Cunha, obrigado por todo o apoio, atenção, troca de material imprescindível para a realização desta dissertação de mestrado.

Aos técnicos do Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Carlos Jesus e Pokee, pela ajuda na preparação e funcionamento dos equipamentos pela troca de ideias e opiniões.

Ao meu namorado Vítor, obrigado pelo carinho, atenção, compreensão, pelos momentos menos bons em que nunca te ausentas-te, junto iremos construir um futuro risonho.

Aos meus pais, obrigado pelo esforço que fizeram ao longo da minha vida. Às minhas irmãs Selma e Teresa um muito obrigado pelos conselhos nos momentos menos bons e por fazerem parte da minha vida.

RESUMO

Os materiais de mudança de fase tendem cada vez mais a serem utilizados na construção, devido às suas propriedades de armazenamento de energia, quer de verão quer de inverno, possibilitando assim a melhoria das propriedades térmicas das edificações num período de 24 horas, sem haver necessidade de recorrer a equipamentos de climatização, contribuindo, desta forma, para um melhoramento do impacto ambiental.

A introdução de fibras e gesso em argamassas de cal contribui para o melhoramento da retração, compensando o agravamento provocado pela incorporação do PCM. Assim, obtêm-se argamassas de revestimento sustentáveis devido às suas propriedades térmicas.

O estudo da retração consistiu no ensaio de cinco argamassas com diferentes composições. A retração foi avaliada no estado fresco e no estado endurecido.

Nas argamassas estudadas foi-se variando a percentagem de PCM, 10%, 20% e 30%, nas composições em que as argamassas fissuraram introduziu-se gesso e fibras.

A argamassa com 10% de PCM, foi aquela que apresentou melhores valores de ensaios mecânicos, cujo seu aumento é cerca de 40% na resistência à flexão e de 57% na resistência à compressão, em comparação com a argamassa de referência C100G0PCM0.

Das cinco composições estudadas, a argamassa cuja composição é 20% PCM, 40% Gesso e 60% de Cal, foi aquela que possui melhores valores de retração.

Palavras – chave: Argamassa, sustentabilidade, cal, fibras, gesso, retração e material de mudança de fase.

ABSTRACT

Phase change materials tends to be increasingly used in construction due to their energy storage properties either during summer or winter. Thus enabling the improvement of thermal properties of the building along the day without the need for air conditioning systems, contributing to reduce the environmental impact.

The introduction of fibers and gypsum mortar of lime contributes to improving the shrinkage compensating the deterioration caused by the incorporation of PCM. Thus, mortar are obtained coating sustainable due to their termal properties.

The study of the shrinkage consists of test five mortars with diferente compositions. The shrinkage was assessed in fresh and hardened state.

In mortars was studied by varying the percentage of PCM, 10%, 20% and 30%, in compositions in which the mortar was introduced crack gypsum and fibers.

The mortar with 10% PCM, was the one that showed the best values of mechanical of the test, which is its increased about 40% in the flexural strength and 57% in compressive strength, compared to the reference mortar C100G0PCM0.

The mortar with 20% PCM, 40% gypsum and 60% of lime in the composition, presented the best results for shrinkage.

Keywords: mortar, lime, fibers, gipsum, shrinkage, phase change material

ÍNDICE GERAL

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Motivação.....	1
1.2 – Objetivo.....	1
1.3 – Organização da dissertação	2
CAPÍTULO 2 – ESTADO DO CONHECIMENTO	3
2.1 – Evolução das Argamassas	3
2.2 – Constituição das argamassas	5
2.2.1 – Ligantes	5
2.2.1.1 – Gesso	6
2.2.1.2 - Cal aérea.....	7
2.2.2 – Agregados	8
2.2.3 – Adjuvantes e Adições	9
2.3 – Classificação das Argamassas	9
2.3.1 – Classificação segundo modo de preparação.....	10
2.3.2 – Classificação segundo a aplicação	10
2.3.2.1 – Argamassas de revestimento.....	11
2.3.2.2 – Argamassas de alvenaria.....	13
2.3.2.3 – Argamassas de suporte de pavimento	13
2.4 – Propriedades das Argamassas.....	14
2.4.1 – Resistência mecânica.....	14
2.4.2 – Resistência à compressão	14
2.4.3 – Decomposição de uma argamassa	15
2.4.4 – Aderência	16
2.4.5 – Impermeabilidade	17
2.4.6 – Trabalhabilidade	18
2.5 – Retração	19
2.5.1 – Tipos de retração	20
2.5.1.1 - Dessecação	20
2.5.1.2 – Hidratação	20
2.5.1.3 – Carbonatação	20
2.5.1.4 – Retração térmica.....	21
2.5.1.5 – Retração global.....	21

2.5.2 – Causas e medidas de controlo da retração.....	21
2.5.2.1 - Causas intrínsecas	22
2.5.2.1 – Causas extrínsecas	24
2.5.1.6 – Retração no Estado Fresco.....	24
2.5.1.6 – Retração no Estado Endurecido	26
2.6 – Argamassas Sustentáveis	27
2.7 – Materiais de Mudança de Fase (PCM).....	28
2.7.1 – PCM orgânicos	30
2.7.2- PCM inorgânicos.....	31
2.7.3 – Misturas eutéticas	31
2.7.2 – Microencapsulamento.....	32
2.7.2.1 – Conceito.....	32
2.7.2.2 – Técnicas de Microncapsulamento de PCM.....	33
2.7.2.3 – Aplicação de PCM na construção	33
2.8 – Fibras.....	34
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E COMPOSIÇÕES.....	35
3.1 – Materiais Utilizados na Preparação Das Argamassas	35
3.1.1 – Gesso	35
3.1.2 – Cal	36
3.1.3 – Areia.....	37
3.1.4 – PCM	37
3.1.5 – Superplastificante	38
3.1.6 – Fibras.....	38
3.1.7 – Água.....	39
3.2 – Composições Estudadas	39
CAPÍTULO 4 – PROCEDIMENTOS DE ENSAIO	39
4.1 – Ensaio laboratoriais.....	39
4.2 – Trabalhabilidade.....	40
4.3 - Preparação das argamassas e preparação dos provetes	41
4.3.1– Resistência à flexão	44
4.3.2 – Resistência à compressão	45
O ensaio de compressão foi realizado com o controlo de força, a uma velocidade de 50N/s.	47
4.4 – Retração.....	47
4.4.1 – Preparação das argamassas	47

4.4.2 – Retração no estado fresco	47
4.4.3 – Retração no estado endurecido	50
4.5 – Perda de Massa.....	52
CAPÍTULO 5 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	53
5.1 – Controlo da temperatura e humidade relativa	53
5.2 – Ensaio de Perda de Massa no Estado Endurecido	54
5.3 – Resistência à Flexão e Resistência à Compressão	56
5.4 – Retração	57
5.5 – Avaliação do ensaio de retração	66
5.6 – Análise da influência do tipo de PCM utilizado	67
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	67
6.1 - Conclusão	67
6.2 – Trabalhos futuros.....	69
CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Ligantes para argamassas.....	6
Figura 2 - Ciclo da Cal	8
Figura 3 - Confeção manual de uma argamassa	10
Figura 4 - Confeção mecânica de uma argamassa	10
Figura 5 - Fases de aplicação de uma argamassa de uma ou mais camadas.....	12
Figura 6 - Aplicação de argamassa de revestimento (APFAC).....	12
Figura 7 - Aplicação da argamassa de alvenaria (APFAC)	13
Figura 8 - Argamassas de regularização de pavimento (APFAC)	13
Figura 9 - Parede de tijolo cerâmico.....	16
Figura 10 - Parede de blocos de cimento	16
Figura 11 - Parede de betão	17
Figura 12 - Equipamento de medição de retração de argamassas no estado fresco desenvolvido no NISA de Toulouse.....	25
Figura 13 - Curva de retração no estado fresco, até 24h, da argamassa 1:1:6, espessura 15mm, aplicada sobre base não absorvente (INSA)	26
Figura 14 - Retração no estado fresco, até 24horas, das argamassas 1:1:6, cal 45 e cal 60 (INSA)	26
Figura 15 - Gesso	36
Figura 16 - Cal aérea	36
Figura 17 - Areia	37
Figura 18 - PCM.....	37
Figura 19 - Superplastificante	38
Figura 20 - Fibras de poliamida.....	38
Figura 21 - Procedimento do ensaio de espalhamento	40
Figura 22 - Balança eletrónica.....	42
Figura 23 - Misturadora mecânica e seringa.....	42
Figura 24 - Processo de Fabrico das argamassas	43
Figura 25 - Molde para provetes 40x40x160 (mm ³)	43
Figura 26 - Provede no ensaio à flexão	45
Figura 27 - Prensa eletromecânica, ensaio de resistência à compressão	46
Figura 28 - Provede no ensaio à compressão.....	47
Figura 29 - Molde 25x25x250 (mm ³) assente na base de madeira	48
Figura 30 - Aparelho de obtenção de dados.....	48
Figura 31 - Pernos	49
Figura 32 - Argamassa conectada com os transdutores	49

Figura 33 – a) Comparador analógico, b) comparador analógico com barra padrão, c) comparador analógico com provete	51
Figura 34 - Controlo da temperatura e humidade relativa	52
Figura 35 - Balança antes da desmoldagem.....	52
Figura 36 - Balança após desmoldagem	53
Figura 37 - Variação da perda de massa após a desmoldagem	55
Figura 38 - Ensaio de retração desde a moldagem até às 24 horas da argamassa C100G0PCM058	
Figura 39 - Ensaio de retração desde a moldagem até aos 7 dias da argamassa C100G0PCM0.58	
Figura 40 - Variação da retração da argamassa C100G0PCM0 desde a moldagem até aos 28 dias	59
Figura 41 - Ensaio da retração desde a moldagem até às 24 horas da argamassa C100G0PCM2059	
Figura 42 - Ensaio de retração desde a moldagem até aos 7 dias da argamassa C100G0PCM2060	
Figura 43 - Ensaio de retração desde a moldagem até aos 28 dias da argamassa C100G0PCM2061	
Figura 44 - Ensaio de retração desde a moldagem até às 24 horas da argamassa C100G0PCM20F	61
Figura 45 - Ensaio de retração desde a moldagem até aos 7 dias da argamassa C100G0PCM20F62	
Figura 46 - Ensaio de retração desde a moldagem até aos 28 dias da argamassa C100G0PCM20F	63
Figura 47 - Ensaio de retração desde a moldagem até às 24 horas da argamassa C80G20PCM20F	63
Figura 48 - Ensaio de retração desde moldagem até aos 7 dias da argamassa C80G20PCM20F64	
Figura 49 - Ensaio de retração desde a moldagem até aos 28 dias da argamassa C80G20PCM20F	64
Figura 50 - Ensaio de retração desde a moldagem até às 24 horas da argamassa C60G40PCM20F	65
Figura 51 - Ensaio de retração desde a moldagem até aos 7 dias da argamassa C60G40PCM20F65	
Figura 52 - Ensaio de retração desde a moldagem até aos 28 dias da argamassa C60G40PCM20F	66

ÍNDICIE DE TABELAS

Tabela 1 - Número de átomos de carbono, temperaturas de mudança de fase e valores de armazenamento térmico de alguns PCM parafínicos	30
Tabela 2 - PCM's inorgânicos.....	31
Tabela 3 - Processos de microencapsulamento	32
Tabela 4 – Características da cal	36
Tabela 5 - Resultados dos ensaios de espalhamento	41
Tabela 6 - Resistências mecânicas das composições aos 28 dias.....	57

INDICIE DE QUADROS

Quadro 1 -Evolução das argamassas desde a antiguidade até ao cimento Portland	4
Quadro 2 - Composições das argamassas estudadas.....	39

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Motivação

No atual contexto mundial, é cada vez mais usual a preocupação pelo processo de desenvolvimento sustentável. Nesta vertente integra-se o conceito de construção sustentável, com o objetivo de utilizar materiais ecoeficientes, que contribuem para um menor gasto de energia. A sustentabilidade implica obter um desempenho equivalente com menor consumo de materiais, que também implica menor poluição, transporte e consumo de recursos naturais. Neste âmbito, devem também estar presentes, os aspetos ambientais, sociais, culturais e económicos. Na construção, a sustentabilidade é o resultado de produzir bens com menor impacto ambiental ajudando assim a preservar os recursos naturais, para gerações futuras.

Na presente dissertação são estudadas argamassas com propriedades de sustentabilidade e com baixa retração. Estas argamassas tornam-se sustentáveis, não por utilizarem materiais sustentáveis, mas sim devido às propriedades que estes materiais conferem à argamassa. Os materiais utilizados não são 100% naturais, mas possuem propriedades térmicas, proporcionadas por materiais de mudança de fase (PCM) que tornam estas argamassas sustentáveis a nível funcional. Uma vez que as argamassas possuem estas propriedades a utilização de equipamentos para o aquecimento de um edifício poderá ser dispensável, resultando num menor gasto de energia do edifício e, consequentemente, num menor impacto ambiental.

1.2 – Objetivo

Os objetivos da dissertação de mestrado passam por avaliar a retração de argamassas sustentáveis, com vista a identificar o espaço temporal em que ocorre maior retração.

Assim, pretende-se encontrar formas e materiais que contribuem para a redução da retração e evitar os danos por ela causados.

Pretende-se, ainda, desenvolver argamassas sustentáveis, obtidas pela introdução de PCM's, avaliando o contributo deste material para uma melhor sustentabilidade.

Foram estudadas composições, que apresentam baixa retração, de forma a permitir a utilização das argamassas sustentáveis, para um futuro não surgirem patologias, tais como fissuração. As argamassas a serem estudadas têm na sua composição, cal aérea com adições de gesso, adjuvantes, fibras e a introdução de PCM.

Neste trabalho, investigou-se a melhor solução para que a argamassa não apresente fissuração. Teve-se ainda em conta o controlo da retração, mantendo a resistência mecânica de acordo com o exigido.

1.3 – Organização da dissertação

No Capítulo 1 é efetuado um enquadramento das argamassas sustentáveis, qual a sua importância atual e quais os materiais que as tornam sustentáveis. Apresentam-se os objetivos da dissertação de mestrado, assim como a sua estrutura.

No Capítulo 2 é descrito o estado de conhecimento, tendo como objetivo apresentar os constituintes de uma argamassa, desde a sua evolução histórica, composição das argamassas, tipos de argamassas e argamassas sustentáveis.

No Capítulo 3 são apresentados os materiais a utilizar nas argamassas em estudo, assim como as suas várias composições.

No Capítulo 4 são descritos os procedimentos seguidos nos ensaios efetuados, ou seja, trabalhabilidade, retração, resistência à compressão e resistência à flexão.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados dos ensaios obtidos pelas diferentes composições de argamassas no estudo do controlo da retração e explicados os comportamentos gerais dos restantes resultados obtidos.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões dos estudos realizados e são sugeridas algumas intervenções possíveis no estudo das argamassas sustentáveis de baixa retração.

CAPÍTULO 2 – ESTADO DO CONHECIMENTO

2.1 – Evolução das Argamassas

Desde a antiguidade, o aperfeiçoamento dos materiais de construção tem vindo a contribuir para a melhoria da qualidade de vida do homem.

Ao longo de toda a história o homem procurou, dentro dos recursos naturais, criar condições favoráveis para se defender das intempéries, assim como dos animais. Inicialmente estes abrigos eram frágeis, sendo construídos com materiais que a própria natureza oferecia tais como, saliências no terreno, sob e sobre as árvores, ramagens entrelaçadas, sobreposição de pedras, porém com a evolução do conhecimento dos materiais existentes passaram a projetar construções mais sólidas (Almeida, 2010).

No início, há mais de 8 mil anos, alguns povos utilizavam lamas argilosas, que secavam ao sol para levantar paredes, apoiadas em paus e tábuas de madeira. Mais tarde, começou-se por fabricar elementos de alvenaria, secando ao sol blocos de lama, adobes, misturando palha para obter uma melhor consistência do material (Paulo, 2006). As construções feitas com estes materiais eram estruturas frágeis, não possuindo a segurança e estabilidade desejadas. Para melhorar estes aspetos, as civilizações desenvolveram uma massa plástica possuindo cal, gesso, areia, água, fragmentos de tijolos, pedras, de modo a obter uma maior estabilidade às edificações. A Muralha da China, foi construída em blocos de pedras ligadas por argamassas feita de barro.

No tempo dos Romanos, houve um melhoramento das argamassas e das práticas de construção. Estes passaram a utilizar essencialmente na composição de argamassas: cinzas vulcânicas ou pozolanas; pó de tijolo ou de telha; cal hidratada; areias; matérias orgânicas (gordura). A combinação de cal com pozolana, um material de origem vulcânica do monte

Vesúvio na zona de Pozzuoli, conferia uma grande resistência à argamassa quando em contacto com a água doce ou salgada. Este tipo de argamassas desenvolvidas pelos romanos vêm sendo utilizadas nas diferentes edificações, pois possuem grande resistência (Costa, 2008).

Anos mais tarde o engenheiro inglês Jonh Smeaton desenvolveu com êxito argamassas com a introdução de aglomerantes hidráulicos, às quais se deve a reconstrução do farol de Eddystone em Inglaterra.

Em 1824, o inglês Joseph Aspdin registou a patente do cimento, que designou Portland, devido a este ser semelhante com a pedra de construção da Ilha de Portland (Quadro 1).

Passados anos desta descoberta, as argamassas têm sido continuamente alteradas. As suas composições têm vindo a sofrer alterações nomeadamente nos ligantes e adjuvantes, devido à introdução de novos materiais na construção para lhes conferir propriedades diferentes.

Quadro 1- Evolução das argamassas desde a antiguidade até ao cimento Portland (Costa, 2008)

Época/ Século	Materiais de construção utilizados	Constituição das argamassas	Exemplos de obras
6500 AC	Adobes	Lama e palha	Casa de adobe no Punjab, Índia
Romano	Argamassas	Pozolanas, pó de tijolo, cal hidratada e areias	Coliseu de Roma
XVIII	Argamassas	Pedra de calcário com certa proporção de argila	Farol de Eddystone
1824	Argamassas	Cimento Portland	Ponte de Sejães

2.2 – Constituição das argamassas

2.2.1 – Ligantes

Os ligantes são utilizados como meio de unir partículas, que aquando da adição de água, formam uma pasta que ganha presa e endurece em virtude das reações de carbonatação e/ou hidratação.

A escolha de um ligante para uma obra, tem de ter em atenção o local onde a obra vai ser executada, desde obras junto ao mar, enterradas ou simplesmente em contacto com o ar.

Tipo de ligantes:

❖ Hidrófilos

- Aéreos (cal aérea, gesso)
- Hidráulicos (cal hidráulica, cimento)

❖ Hidrófobos

- Alcatrão (betumes, asfaltos, resinas)

Os ligantes hidrófilos, são normalmente aplicados em argamassas e betões. Este tipo de ligante tem afinidade com a água e, quando misturado com esta, forma uma pasta que endurece, podendo, aglomerar outros materiais compatíveis.

Os ligantes hidrófobos, têm como principal aplicação impermeabilizantes e pavimentos rodoviários. Este tipo de ligante não necessita de água para o seu endurecimento, pelo contrário ao endurecer repele a água. Estes ligantes precisam de ser aquecidos a uma determinada temperatura para facilmente serem estendidos, consolidando por um aumento sucessivo da viscosidade, endurecem por arrefecimento.

Para o presente trabalho os ligantes a utilizar serão os hidrófilos nomeadamente a cal aérea e o gesso, por serem adequados para realizarem argamassas de revestimentos no interior de edifícios.

Na Figura 1 apresentam-se os ligantes utilizados em argamassas.

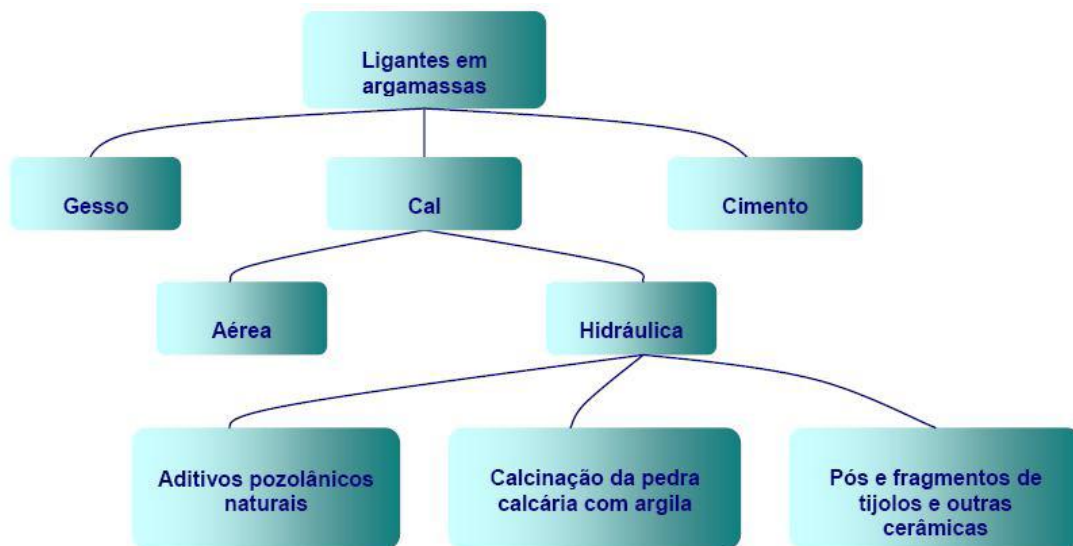


Figura 1 - Ligantes para argamassas (Costa, 2008)

2.2.1.1 – Gesso

O gesso é apresentado sob a forma de anidrite CaSO_4 ou gesso com duas moléculas de água $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Este tipo de ligante é muito utilizado na construção. Contribui eficazmente para a resistência ao fogo e para o isolamento térmico-acústico, ao mesmo tempo torna a estética do edifício mais agradável, pois permite um acabamento interior confortável e elegante, para a vida do quotidiano. A nível ambiental o gesso apresenta a vantagem de emitir menos gás carbónico que o cimento Portland durante o seu processo industrial de fabricação. O seu processo de calcinação ocorre a baixas temperaturas, requerendo menor consumo de energia, sendo uma mais valia para a redução do impacto ambiental.

Quanto à resistência à compressão esta é maior no cimento, uma vez que no gesso compreende valores de 10 – 15 MPa. No que se refere à resistência à tração e flexão, estas são da mesma ordem de grandeza das do cimento.

O gesso quando submetido a certas temperaturas em fornos especiais dá origem a diversos compostos, mais ou menos hidratados e com propriedades diferentes, que se passa a descrever (Aguiar, 2007).

- entre 130 e 150°C o composto perde 1,5 moléculas de água dando origem a gesso para estuque ou gesso calcinado – $\text{CaSO}_4, 1/2\text{H}_2\text{O}$.
- entre 180 e 250°C dá origem a anidrite solúvel CaSO_4 de presa rápida, modificando o $\text{CaSO}_4, 1/2\text{H}_2\text{O}$ perdendo a água.
- entre 400 e 600° C forma-se uma anidrite não solúvel, não reage com a água, não ganha presa.
- entre 900 e 1200° C forma-se o gesso hidráulico que é uma anidrite de presa lenta.

2.2.1.2 - Cal aérea

A matéria prima que origina a cal aérea é a pedra de calcário, com uma composição de 95% de carbonato de cálcio ou carbonato de cálcio e magnésio e um baixo teor de impurezas na ordem dos 5%. Caso o teor de magnésio no composto seja superior a 20% denomina-se por cal magnésiana, caso contrário designa-se por cal cálcica (Tiago, 2011).

A cal cálcica divide-se em dois grupos, cais gordas e cais magras. Quanto à sua composição, estas diferenciam-se no teor de carbonato de cálcio, se este teor for superior a 99% está-se na presença de cais gordas, caso esteja compreendido entre 95% e 99% são designadas de cais magras, possuindo uma menor resistência e brancura. Um outro aspeto que difere nestes tipos de cais é o aumento de volume que ambas possuem aquando da sua extinção, a cal gorda manifesta maior incremento (Agostinho, 2008).

Os processos associados ao endurecimento da cal aérea dividem-se em três fases: calcinação, hidratação e carbonatação (Figura 2).

A calcinação ocorre quando a temperatura rondar os 894°C ocorrendo a cozedura dos calcários que originam a transformação do carbonato de cálcio (CaCO_3) em dióxido de carbono e óxido de cálcio (CaO), sendo esta composição conhecida como cal viva (Tiago, 2011).

A hidratação é uma fase essencial neste processo, uma vez que a cal viva já não possui propriedade de ligante, sendo necessária a sua hidratação. A hidratação resulta aquando o

óxido de cálcio (CaO) sofre uma reação expansiva e exotérmica, resultando o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) designado por cal apagada (Alves, 2011).

A carbonatação é realizada quando a cal em conjunto com os agregados, adjuvantes e água, na forma de argamassa, começa o processo de presa. A reação por carbonatação ocorre durante um tempo indefinido devido a vários fatores, sendo que o seu processo ocorre do exterior para o interior da argamassa.



Figura 2 - Ciclo da Cal (Rodrigo, 2010)

2.2.2 – Agregados

Os agregados são materiais com uma forma e volume variáveis contendo dimensões e propriedades adequadas para a elaboração de argamassas. A areia é o único agregado de uma argamassa, uma pequena modificação na sua qualidade provoca efeitos consideráveis na argamassa final, que pode afetar os resultados desejados. A qualidade pode ser condicionada devido a alguns fatores como, tamanho médio e forma das partículas, sua distribuição granulométrica e presença de impurezas. Na argamassa a areia tem como intuito reduzir a retração e melhorar a resistência à compressão (Paiva, 2005).

Há um conjunto de normas e ensaios, de modo a avaliar a adequabilidade das areias para os efeitos pretendidos (Valente, 1996).

Uma pasta de cimento é obtida utilizando apenas água e cimento, com esta composição a pasta possui uma boa aderência. Contudo o processo de fabrico de cimento consome muita

energia, o que conduz a um custo mais elevado desta pasta, para além deste também elevar a retração, aquilo que queremos controlar (Costa, 2011).

2.2.3 – Adjuvantes e Adições

Nos tempos que decorrem, são cada vez mais utilizados adjuvantes e adições, com o objetivo de modificar as propriedades das argamassas, adequando-as a determinadas condições de uso e de desempenho, para as quais foram projetadas. Estas condições, na maior parte das vezes são impostas pelos fornecedores, para o desempenho pretendido, para conseguirem alcançar os seguintes efeitos (Paulo, 2006):

- melhor trabalhabilidade;
- acelerar a presa;
- retardar a presa;
- acelerar o endurecimento nos primeiros anos;
- aumentar a resistência aos ciclos de gelo-degelo;
- reduzir a permeabilidade aos líquidos;
- criar uma ligeira expansão na argamassa;
- impedir a segregação e sedimentação dos seus constituintes,
- produzir argamassas leves.

2.3 – Classificação das Argamassas

As argamassas têm vindo a sofrer alterações, no sentido de lhes conferir melhores propriedades, tais como, retração, resistências à compressão e à tração, trabalhabilidade, ou, até mesmo, melhoria do aspeto visual.

Argamassa é uma mistura de um ou mais ligantes orgânicos, agregados, cargas, aditivos e/ou adjuvantes. De acordo com esta definição, uma argamassa é um material de construção que pode ter infinitas aplicações. Assim surge a necessidade de diferenciar as argamassas de acordo com a finalidade para que foram projetadas, para alvenaria ou de revestimento (EMO, 2001).

2.3.1 – Classificação segundo modo de preparação

As argamassas são preparadas manualmente ou mecanicamente. Quanto há fabricação manual, no auxílio da sua preparação é usada a enxada, como ilustra a Figura 3. A fabricação mecânica efetua-se com amassadores e misturadores (Figura 4).



Figura 3 - Confeção manual de uma argamassa



Figura 4 - Confeção mecânica de uma argamassa

2.3.2 – Classificação segundo a aplicação

As argamassas podem ser classificadas segundo o seu modo de aplicação, estas podem ser: argamassa de revestimento, argamassa de alvenaria e argamassas de suporte de pavimento.

2.3.2.1 – Argamassas de revestimento

As argamassas de revestimentos podem ser empregues em paredes e tetos. Na sua aplicação, as superfícies devem estar limpas e isentas de resíduos de cofragens, poeiras, entre outros. Quando consideramos argamassas de estuque, devido ao gesso ser o principal ligante, estas podem servir de elemento decorativo e de revestimento. As argamassas de revestimento podem ser de vários tipos, diferenciando entre elas a resistência mecânica e a porosidade (Marques, 2005).

Quanto ao modo de aplicação de revestimento destas argamassas, elas podem conter uma camada (monocamada) ou mais de uma camada.

As argamassas de revestimento de uma ou mais camadas são preparadas em obra, apresentando três etapas de execução (Figura 5), tais como:

Aplicação do chapisco

O chapisco (crespido, salpisco ou camada de aderência) é um dos primeiros processos de colocação de argamassa. Este pode ser lançado à mão sobre o suporte ou mecanicamente através da projeção, de maneira a construir uma camada descontínua de espessura fina e irregular. Esta primeira etapa tem por objetivo assegurar ou melhorar a aderência ao suporte (Valente, 1996).

Camada base

A camada base (reboco) das três fases é a mais importante, uma vez que tem como principal função garantir a regularização, proteção, planeza vertical e a regularidade dos parâmetros, contribuindo para a impermeabilização das paredes exteriores, podendo ser constituída por mais de uma camada. Esta camada, é mais espessa, deverá ser projetada e apertada à talocha mas não muito alisada para que a leitada de cimento não apareça à superfície, criando pontos de fendilhação. A sua textura final deve ser rugosa para conferir uma boa aderência à camada de acabamento.

Camada de acabamento

A camada de acabamento (esboço) é aplicada apenas quando a camada base tiver apresentado a resistência desejada, em geral 1 a 2 semanas após a sua aplicação sendo necessário humedecer previamente a camada de revestimento (Martins e Assunção, 2010). Esta camada tende essencialmente a conferir um acabamento decorativo e estético. Tendo ainda como objetivo contribuir para a impermeabilização da parede, proteção a choques acidentais e ao atrito. Estabelece a primeira barreira à penetração de água (Valente, 1996). Para que não ocorra fissuração devem preencher-se as fissuras que eventualmente se formaram na camada base. Deverá utilizar-se uma argamassa de baixo teor de ligante, para garantir reduzida retração. É uma camada mais fina, como possui menor dosagem de ligante torna-se mais fraca que as anteriores, com uma espessura de 5 e 10 mm, caso a aplicação seja projetada a espessura toma o valor de 3 mm (Estrela, 2008). A escolha da textura depende essencialmente do efeito estético pretendido, mas também se deve atender a condições de exposição às intempéries e à poluição atmosférica.



Figura 5 - Fases de aplicação de uma argamassa de uma ou mais camadas

As argamassas de revestimento de uma só camada (Figura 6) são preparadas em fábrica, sendo em obra aplicadas por projeção. Este tipo de argamassa substitui as diversas camadas do reboco tradicional (Gonçalves, 2011). O acabamento final, pode ser cerâmico, pinturas ou texturas especiais.



Figura 6 - Aplicação de argamassa de revestimento (APFAC)

2.3.2.2 – Argamassas de alvenaria

Estas argamassas são utilizadas na construção de paredes de tijolo (Figura 7) com o objetivo de assegurar a agregação e estabilidade dos elementos construtivos. Entre outras características, este tipo de argamassa oferece uma boa capacidade de resistência mecânica, boa aderência aos elementos e capacidade de absorver movimentos provocados pelas tensões mecânicas, para além de gradientes térmicos e humidade (Almeida, 2010).



Figura 7 - Aplicação da argamassa de alvenaria (APFAC)

2.3.2.3 – Argamassas de suporte de pavimento

Este tipo de argamassa é utilizado na regularização e nivelamento de pavimentos (Figura 8). Estas podem servir de revestimento final ou podem receber um revestimento, tal como, azulejos ou pavimento flutuante. Uma das suas principais propriedades é a elevada resistência à compressão, resultante dos materiais utilizados na sua confeção, tais como, o cimento.



Figura 8 - Argamassas de regularização de pavimento (APFAC)

2.4 – Propriedades das Argamassas

2.4.1 – Resistência mecânica

A resistência mecânica de uma argamassa, está relacionada com a capacidade de esta resistir a esforços internos ou externos de diversas origens, resultantes de cargas estáticas ou dinâmicas atuantes nas edificações, ou provenientes do efeito das condições ambientais (Martins, 2008).

A resistência mecânica depende da natureza e quantidade dos agregados e ligantes. Nas argamassas de cimento, a resistência à tração e compressão diminui com o aumento da proporção de agregados (Martins e Assunção, 2010).

As propriedades dos agregados também têm influência na resistência das argamassas, tais como:

- quando o agregado é excessivamente fino, implica um maior consumo de água da amassadura superior à necessária para a hidratação do cimento, podendo produzir uma argamassa porosa e de menor resistência;
- quando os agregados não são isentos de sujidade, isto é, com quantidades de matéria orgânica, argilosa ou silitosa, estas impedem uma completa consolidação e a ligação entre agregados e pasta ligante.

2.4.2 – Resistência à compressão

A resistência à compressão de uma argamassa é determinada aquando da aplicação de uma força de compressão entre dois pontos opostos (EMO, 2001).

Através da razão água/cimento, verifica-se que a resistência cresce ao diminuir a água da amassadura, para a mesma dosagem de cimento. Se variar, na mesma proporção, a quantidade de água e cimento, a resistência da argamassa mantém-se inalterável.

Como acima mencionado, a resistência de uma argamassa aumenta com o aumento da quantidade de cimento. Contudo, não há qualquer interesse em aumentar a quantidade de cimento para além de determinados limites, devido às ações de retração que também aumentam e o acréscimo da resistência não é significativo (Martins e Assunção, 2010).

A resistência à compressão de uma argamassa depende:

- dureza da areia;
- qualidade do aglutinante;
- composição granulométrica da areia;
- quantidade da água da amassadura;
- dosagem do aglutinante;
- modo de fabricação da argamassa.

2.4.3 – Decomposição de uma argamassa

Uma argamassa tende a decompor-se aquando da presença de:

- ação das águas agressivas;
- ação ofensiva do meio;
- ação do tempo.

A humidade ao ascender do solo pelas paredes, transporta sais dissolvidos que se depositam no seu interior. Com o passar do tempo, estes sais, em contacto com a água e com a humidade acabam por degradar as paredes e os seus revestimentos, tornando os elementos fracos.

Para evitar a decomposição da argamassa utiliza-se meios para a sua proteção, tais como (Martins e Assunção, 2010):

- usar um ligante adequado, por exemplo o cimento pozolânico e o cimento de alto forno, compatíveis com a resistências aos meios agressivos;
- ligantes hidráulicos e areias siliciosas, com cargas calcárias ligeiras, aditivos orgânicos e inorgânicos;
- boa cura da argamassa, protegem-se as alvenarias nos primeiros dias, com a ajuda de meios apropriados para evitar uma evaporação da água demasiadamente rápida;
- refechamento das juntas;
- com temperaturas baixas juntar à argamassa um produto anti-congelante à razão de 2% do peso do cimento, podendo trabalhar-se até a temperatura de -5°C. Se a percentagem de anti-congelante for elevada, há perigo de aumento de retração da uma argamassa.

2.4.4 – Aderência

A aderência de uma argamassa, por vezes é uma propriedade essencial, tendo em conta que esta permitirá à parede resistir a esforços de tração. Além de garantir a estanquidade das juntas, impedindo a penetração das águas das chuvas.

A aderência refere-se à extensão do contacto entre a argamassa e uma base, é usada também para descrever a capacidade de resistência. A base nem sempre é em alvenaria, esta pode ser de tijolos ou blocos cerâmicos, blocos de betão, entre outros (Figura 9 a 11).

Quando se fala de aderência de uma argamassa, é necessário referir em que material esta vai ser aplicada, pois esta depende da interação entre dois materiais.



Figura 9 - Parede de tijolo cerâmico



Figura 10 - Parede de blocos de cimento



Figura 11 - Parede de betão

A aderência da argamassa endurecida à base é um fenómeno particularmente mecânico, devido, basicamente à penetração da pasta do aglomerante ou da própria argamassa nos poros entre as rugosidades da base da aplicação.

A argamassa de reboco normalmente é aplicada contra tijolos, que são materiais porosos e tendem a absorver água. Esta água provém da argamassa, o que leva a uma anormal hidratação do ligante por falta de água. Para que tal não aconteça, é de boa prática molhar primeiramente os tijolos para se dar a saturação dos mesmos em água.

2.4.5 – Impermeabilidade

A impermeabilidade é a capacidade de uma argamassa para impedir a infiltração da água, sob uma determinada influência (EMO, 2001).

Para obter uma baixa permeabilidade numa argamassa é necessário utilizar uma areia ou conjunto de areias que levem ao menor volume de vazios possível. Uma das causas possíveis da penetração da água passa pela falta de impermeabilização dos materiais de construção utilizados, esta falta pode trazer problemas severos para a edificação (Costa, 2008).

A água da chuva, em conjunto com o vento pode dar origem à penetração da água do exterior para o interior, degradando assim o revestimento.

Alguns aspetos que podem influenciar na impermeabilidade de uma argamassa, são os seguintes (Martins e Assunção, 2010):

- traço;
- qualidade dos agregados;
- forma de aplicação;
- espessura da camada;
- natureza do suporte;
- fissuras ou micro-fissuras existentes.

2.4.6 – Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é uma propriedade da argamassa no estado fresco, esta deve ser facilmente aplicada e originar uma boa aderência ao suporte e consequentemente, o bom comportamento do reboco.

Para melhorar a trabalhabilidade de uma argamassa, deve-se introduzir cal, ar e areias graduadas e arredondadas, ou mesmo adjuvantes adequados. A cal introduzida melhora a plasticidade e aumenta a retenção de água, enquanto o ar funciona como lubrificante, apesar de reduzir a resistência mecânica (Estrela, 2008).

A água utilizada na preparação da argamassa deverá ser a necessária para hidratar o ligante, uma vez que o excesso da mesma pode formar uma argamassa muito fluida. Durante o processo de secagem quanto maior for a quantidade de água perdida através da evaporação, maior será a retração no qual está associada a este fenómeno a perda de volume (Martins, 2008).

Aspetos que influenciam a trabalhabilidade de uma argamassa:

- Condições de projeto:
 - espessura da camada;
 - condições ambientais.
- Características da argamassa:
 - consistência;
 - homogeneidade.

- Condições de preparação:
 - mistura;
 - transporte;
 - aplicação;
 - acabamento.

2.5 – Retração

Entende-se por retração a redução de volume de uma argamassa, sem suporte, durante o processo de endurecimento (EMO, 2001). As argamassas de cal apresentam uma redução de volume que será maior se as percentagens de água e cal forem elevadas (Dubaj, 2000). A retração de uma argamassa é tanto maior quanto mais cimento e volume de água utilizar (Aguar, 2007). Por outro lado, a retração trata-se de um mecanismo associado à variação de volume da pasta aglomerante e apresenta um papel essencial no desempenho das argamassas aplicadas, especialmente no que refere à estanqueidade e à durabilidade. A retração deve ser controlada, devido ao facto de esta poder provocar fissuras nas argamassas.

Uma grande quantidade de água na argamassa é um indicador do excesso de retração e com uma grande probabilidade de aparecimento de fissuras no revestimento.

Quando a secagem é lenta, a argamassa tem tempo suficiente para atingir uma resistência à tração necessária para aguentar as tensões internas que apareçam. Em contrapartida se estamos perante um clima quente, seco, ventoso, acelerando a evaporação, a perda da água vai gerar fissuras de retração. Resultado idêntico é observado quando a argamassa é aplicada sobre uma base muito absorvente.

Quanto aos materiais utilizados, a granulometria da areia determina o volume de vazios a serem preenchidos pela pasta aglomerante. Quanto mais elevado for esse volume, maior o teor de pasta necessário, aumentando o potencial de retração (Martins e Assunção, 2010).

A retração é um fenómeno a ser evitado, assim a importância de controlar as causas e tentar minimizar os seus efeitos desde a microfendilhação e fendilhação de componentes de argamassa.

2.5.1 – Tipos de retração

Através de pesquisas realizadas por investigadores, verifica-se que as principais causas da retração são a: dessecação, hidratação, carbonatação e retração térmica.

2.5.1.1 - Dessecação

A dessecação, que dá origem à retração está associada ao fenómeno de saída de água para o exterior através dos capilares, e de seguida dos poros de menor dimensões. Devido à perda de água há uma redução de volume da pasta de cimento em cerca de 22%. Este tipo de fenómeno deve-se essencialmente à absorção e evaporação da água por elementos de contato, no caso de revestimento de paredes, pelo suporte (Veiga e Souza, 2004). Um aspeto importante para a retração ser maior na dessecação, é devido à argamassa ainda não ter desenvolvido a resistência à tração suficiente, para absorver os esforços, originando a fendilhação.

2.5.1.2 – Hidratação

Segundo Alves (2011), a retração por hidratação é a variação do volume de argamassa sem perda de água para o exterior.

Designa-se retração por hidratação a todos os componentes de retração resultantes das reações de hidratação, incluindo componentes de autodessecação e componentes de origem química (Alves, 2011).

2.5.1.3 – Carbonatação

A retração por carbonatação dá-se devido à reação do dióxido de carbono (CO_2) presente no ar com o hidróxido de cálcio, componente hidratado do cimento, que vai produzir produtos sólidos, como o carbonato de cálcio, sendo estas reações acompanhadas pela libertação da água. As argamassas de reboco são muito vulneráveis à carbonatação devido à sua reduzida espessura e elevada permeabilidade aos gases (Veiga, 1998).

A velocidade de carbonatação está relacionada com a quantidade de dióxido de carbono contido na atmosfera. Uma vez que o dióxido de carbono origina a carbonatação, a velocidade de penetração é decrescente.

2.5.1.4 – Retração térmica

A retração térmica é devida ao facto de ser libertado calor durante as reações de hidratação exotérmicas e condições ambientais.

Devido à argamassa de reboco apresentar uma espessura reduzida, não é necessário ter em conta a contribuição da retração térmica.

2.5.1.5 – Retração global

A retração global é formulada pela contribuição da retração por dessecação, hidratação, carbonatação e térmica, efetuando-se uma interação contínua entre os vários fenómenos. Ao longo destes processos, vai havendo variações e relações entre eles. Após o endurecimento da argamassa a hidratação encontra-se quase terminada, o que vai originar poucas deformações. Quanto à carbonatação, dá-se ao longo da vida da argamassa, e vai depender das condições ambientais, uma vez que existe a reação do dióxido de carbono com o hidróxido de cálcio do ligante.

2.5.2 – Causas e medidas de controlo da retração

Nos tempos que correm o fenómeno retração tem sido um foco de interesse da parte de investigadores, uma vez que se pretende obter excelentes argamassas que não apresentem fissuras desde o seu fabrico até à colocação em obra. Contudo ainda não existe muita informação sobre o fenómeno de retração, quais as causas da retração e quais as medidas a tomar devido a essas causas.

As argamassas à base de cal aérea na sua secagem apresentam alta retração, um dos fenómenos que se quer controlar. Contudo, existem causas e medidas para atenuar o efeito de retração nas argamassas de cal aérea.

2.5.2.1 - Causas intrínsecas

Os fatores intrínsecos estão relacionados com a composição das argamassas. Estes fatores de diferentes naturezas afetam o desenvolvimento de propriedades mecânicas da argamassa.

Após a amassadura a água que sai para o exterior da argamassa por evaporação ou absorção, é benéfica para o encurtamento do tempo de presa, iniciando o processo de retração não carbonatada, a resistência à tração é nula de modo a impedir a fendilhação da argamassa.

O fenómeno de retração é tanto maior quanto maior for a velocidade de evaporação da água interna e quanto maior for a quantidade de água perdida por absorção dos elementos que estão em contacto (Veiga, 1998).

Os agregados utilizados na produção de argamassas podem influenciar de variadas formas as argamassas. Os principais fatores que influenciam o tipo de agregado são: origem; forma; dimensão; granulometria. A relação entre estes fatores pode causar problemas à argamassa, nomeadamente no que diz respeito à fissuração.

Caso a composição do agregado seja idêntica à do ligante, a ligação entre os dois será mais coesa e contribuirá para uma melhor compacidade da argamassa, tornando-a mais porosa, e consequentemente a argamassa tenderá a absorver menor quantidade de água. Existem três zonas evidentes na argamassa, o espaço ocupado pelo ligante, o espaço ocupado pelo agregado, e a interface entre os dois componentes anteriormente descritos. Principalmente na zona ocupada pelo ligante, formam-se fissuras, para reduzir o aparecimento desta poderão ser utilizados agregados de maiores dimensões (Pereira, 2008).

A maior parte da retração ocorre em estado fresco, sendo que, no período anterior à presa da argamassa, esta não possui resistência à tração suficiente para absorver os esforços instalados, sendo necessário recorrer à introdução de fibras, de origem metálica, sintética ou mineral, evitando assim a ocorrência de retração devido ao efeito do atrito que provocam na argamassa.

Alguns autores que estudaram a influência das fibras, contrariam esta afirmação uma vez que o ar introduzido na amassadura com as fibras e zonas mais porosas na ligação fibra/matriz, entre outros aspetos podem ter o efeito contrário. Os fatores que influenciam a retração das argamassas com a introdução de fibras, estão relacionados com o tipo de fibras, a relação comprimento/diâmetro e a fração volúmica de fibras (Veiga, 2008).

De um modo semelhante, as redes metálicas e redes de fibra de vidro, contribuem também para a redução da retração.

O ligante cal aérea exige que a quantidade de água utilizada seja a necessária para manter uma boa trabalhabilidade. Segundo (Rodrigues, 2004), as argamassas de cal aérea apresentam elevada deformação na rotura, baixa retração, quando estas são corretamente preparadas e aplicadas, resistência mecânica reduzida mas vão aumentando gradualmente por fixação do dióxido de carbono.

Os adjuvantes plastificantes ou superplastificantes têm como objetivo aumentar a trabalhabilidade ou obter elevadas resistências. Caso sejam usados para efeitos de trabalhabilidade, no caso do aumento da resistência, há uma diminuição da retração.

Uma outra forma de reduzir a retração é a introdução de adições na argamassa, uma vez que alteram as propriedades físicas da argamassa. Como exemplo de adições temos, as pozolanas, escória granulada de alto-forno e as cinzas volantes.

As pozolanas nas primeiras idades aumentam a retração, mas a longo prazo a retração só aumentará com percentagem superiores a 20%.

Quanto à escória granulada de alto-forno, não afeta a retração, mas no caso de a razão A/C ser reduzida ou a cura húmida seja de curta duração, poderá haver um aumento da retração.

As cinzas volantes reduzem significativamente a retração, a sua diminuição está relacionada com a diminuição da água da amassadura, e pela porosidade mais fina da pasta, dificultando a saída de água.

2.5.2.1 – Causas extrínsecas

Os fatores extrínsecos são todos aqueles que podem influenciar a retração das argamassas de revestimento, influenciando o seu desempenho. As causas intrínsecas estão relacionadas com as características e propriedades das argamassas. As causas externas, estão relacionadas com o tipo de cura, a humidade relativa, a velocidade do ar, a temperatura. Na presente dissertação, dá-se destaque às condições de cura da argamassa.

Segundo Bastos (2001) o modo de exposição de argamassas nas primeiras horas logo após o fim de mistura e a sua aplicação são fatores importantes, para o modo de secagem após este período. No final da mistura há uma maior quantidade de água livre na argamassa, a perda de água ocorre mais depressa em velocidade e quantidade sob condições mais agressivas. Auxiliando a argamassa na perda de água até ao seu estado endurecido, assim uma parte da água é utilizada para hidratação, havendo menos disponível para evaporação.

As condições de cura são importantes para o progresso das resistências mecânicas e da retração. A temperatura ótima para argamassas que possuem cal aérea na sua composição é 20°C e humidade relativa compreendida entre 50% e 70%.

2.5.1.6 – Retração no Estado Fresco

A medição da retração no estado fresco de uma argamassa ainda não se encontra muito detalhada, uma vez que a sua investigação continua a ser estudada. A importância do estudo do fenómeno de retração está relacionada com a durabilidade das edificações. A argamassa ao ser projetada numa base com má aderência pode gerar o efeito de retração, uma vez que a argamassa pode ser impedida de se retrair livremente, originando tensões de tração que podem levar à fissuração do revestimento (Bastos, Nakukura e Cincotto, 2001).

Para ilustrar e entender melhor o efeito de medição da retração, é apresentado um ensaio de retração no estado fresco desenvolvido no INSA de Toulouse, França.

Para a realização do ensaio, foram utilizados os seguintes equipamentos (Figura 12) um molde de aço inoxidável que permite a moldagem de placas de argamassas de dimensões

400 mm × 150 mm e espessuras de 15 a 25 mm, dois conjuntos de grelha/haste metálica, dois captadores de deformação digital, de curso máximo 2,5 mm e precisão 0,001 mm. A retração é registrada linearmente, captando-se o deslocamento dos dois conjuntos grelha/haste, posicionados nas extremidades do molde envolvidos pela argamassa (Bastos et al. 2001).

Todas as argamassas ficaram expostas a uma temperatura de 24°C e 50% de humidade relativa em câmara seca.

A Figura 13 apresenta a curva de retração nas primeiras 24 horas, tendo sido observado que no intervalo de tempo desde o início e fim de pressa da argamassa está inserido um período de estabilização.

A Figura 14, mostra a curva da retração, com diferente percentagem de cal, o aumento do teor de cal origina aumento da retração.

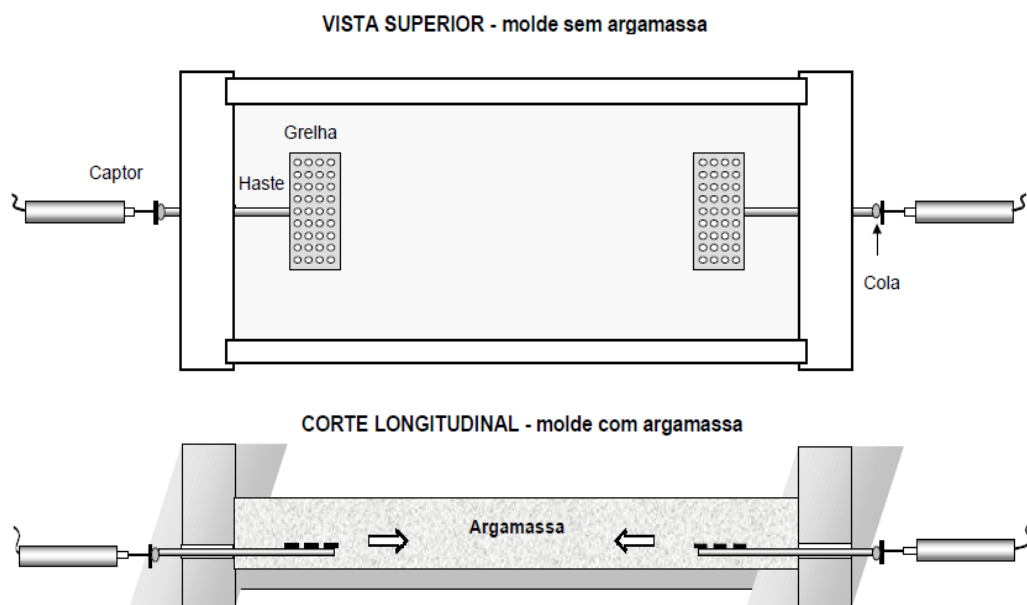


Figura 12 - Equipamento de medição de retração de argamassas no estado fresco desenvolvido no NISA de Toulouse (Bastos et al. 2001)

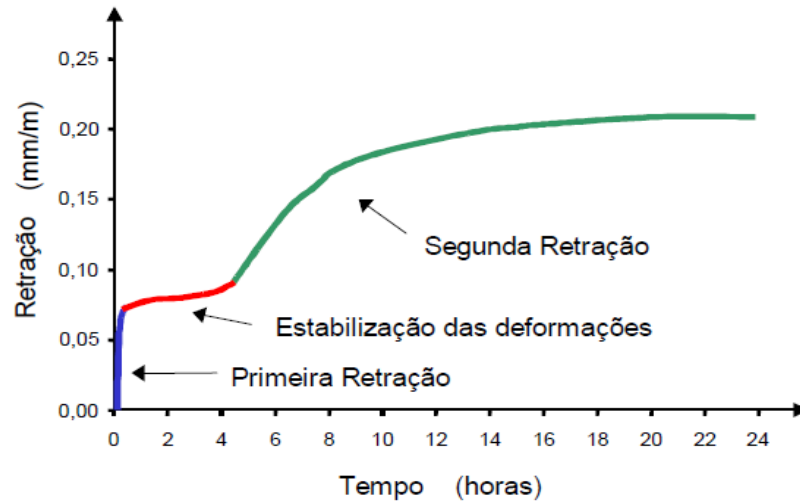


Figura 13 - Curva de retração no estado fresco, até 24h, da argamassa 1:1:6, espessura 15mm, aplicada sobre base não absorvente (INSA) (Bastos et al. 2001)

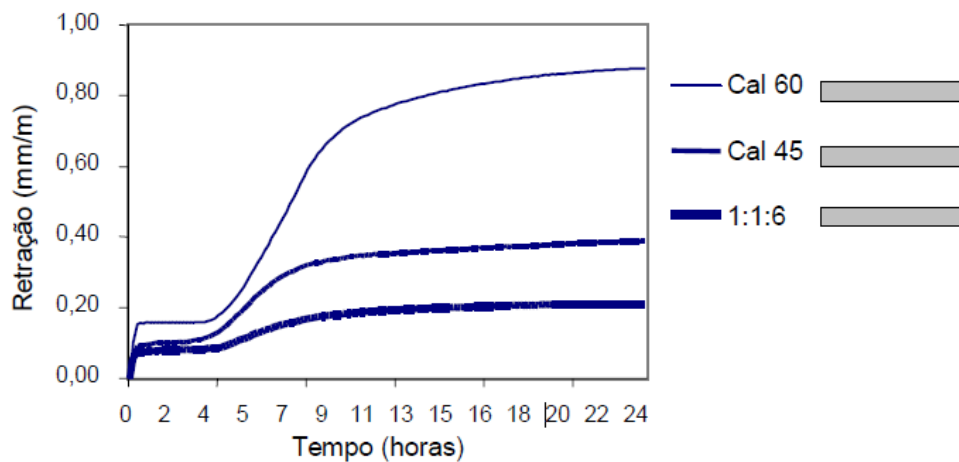


Figura 14 - Retração no estado fresco, até 24horas, das argamassas 1:1:6, cal 45 e cal 60 (INSA) (Bastos et al. 2001)

2.5.1.6 – Retração no Estado Endurecido

O método de medição de retração no estado endurecido, é mais fácil de utilizar que a medição da retração no estado fresco, uma vez que é efetuada a medição dos provetes fora dos moldes. Tem como principal desvantagem não quantificar a retração no estado fresco, sendo que aquando a primeira medição o provete já possui a retração não quantificada.

Não é um ensaio tão rigoroso, pois após a desmoldagem a argamassa poderá ver alterada algumas propriedades mecânicas (Alves,2011).

A norma NP-1381 de 1976, fornece o método de procedimento para a medição da retração no estado endurecido. É efetuada a moldagem de provetes de argamassas de $25 \times 25 \times 250 \text{ mm}^3$, nas extremidades de cada molde são introduzidos pernos em aço inoxidável, que se vão encontrar envoltos na argamassa. Os pernos são empregues na argamassa para após a desmoldagem servirem de auxílio para fixar o provete num suporte em aço, estando provido de um comparador analógico na parte superior, que irá fornecer as leituras da variação do comprimento dos provetes. Antes de cada medição dos provetes, é efetuada a medição da variação de comprimento da barra padrão em aço inoxidável, mantida sempre à mesma temperatura e humidade relativa dos provetes para não haver interferência de resultados. Este tipo de ensaio tem a vantagem de ser rápido, fácil de executar e económico, sendo apenas utilizado um único aparelho de medição (Nunes, 2010). Com o mesmo procedimento do ensaio acima descrito, há um outro tipo de aparelho conhecido pelo nome de LVDT do inglês Linear Variable Differential Transformer, que poderá ser utilizado ao invés do comparador analógico.

2.6 – Argamassas Sustentáveis

Atualmente, cada vez mais se fala da sustentabilidade, nomeadamente no sector da construção civil.

As argamassas são dos elementos mais utilizados na construção. Pela utilização de grandes volumes de argamassas, há aspetos económicos e técnicos envolvidos sendo urgente tomar medidas no âmbito de diminuir o impacto ambiental das argamassas, aumentando a sua sustentabilidade.

Pode afirmar-se ainda, que uma argamassa é igualmente sustentável se contribuir significativamente para o conforto higrométrico dos edifícios.

Nos edifícios até hoje construídos não está muito presente a sustentabilidade. Hoje em dia os tempos vão mudando e tem-se trabalhado no setor da construção no que respeita à redução de CO_2 e consumo de água potável, palavras chaves para a sustentabilidade.

No caso em estudo, que tem como objetivo contribuir para tornar a argamassa sustentável, deverá ter-se em conta alguns aspetos:

- local de extração dos materiais constituintes;
- transporte do material até a sua preparação;
- durabilidade da argamassa;
- meios de preparação, mecânicos ou manuais.

O cimento, um dos constituintes da argamassa, é um dos potenciais materiais a substituir na preparação da argamassa, uma vez que para a sua fabricação é necessária uma grande quantidade de energia. Poderá ser substituído por outro ligante que cause menos impacto ambiental.

Para a fabricação de uma argamassa necessitamos de energia e água, estas devem ter em conta o modo como são exploradas pois são duas componentes que ajudam no aumento do impacto ambiental, caso sejam usadas de forma desadequada.

Por outro lado, aumentando a durabilidade reduz-se também a quantidade de resíduos de construção e demolição. Quanto maior for a durabilidade de um material, maior será a sua vida útil e consequentemente menor será o seu impacto ambiental.

2.7 – Materiais de Mudança de Fase (PCM)

Os materiais mudança de fase estudados nesta dissertação são microcápsulas revestidas com um material polimérico, sendo o interior constituído por parafinas.

Com as necessidades dos consumidores utilizarem habitações cada vez mais sustentáveis, ou seja, com menores gastos na energia elétrica, é necessário recorrer a soluções construtivas que garantem o conforto térmico sem a necessidade de utilização de equipamentos de climatização. A incorporação de PCM's nas argamassas de revestimento de uma habitação, deve-se ao facto de este material ter a capacidade de manter uma temperatura de conforto na habitação, com a descida ou subida de temperatura exterior, pois o PCM armazena calor que dissipa mais tarde (Gonçalves, 2009).

Como alternativa ao uso de equipamentos e com o objetivo de melhorar o conforto térmico no interior das habitações, tem-se vindo a estudar argamassas com a introdução de material mudança de fase (PCM) do inglês “Phase Change Material”.

Este material é caracterizado pelo armazenamento de energia térmica a uma temperatura constante pelo processo de mudança de fase de um material, nomeado por calor latente, cuja característica principal é a elevada quantidade de energia armazenada (Félix, 2009).

Uma forma simples de definir PCM é através dos fenómenos que ocorrem na água, desde vaporização, solidificação e fusão. A passagem do estado líquido para o estado sólido e vice-versa ocorre a temperatura de 0°C. Por conseguinte, a passagem do estado líquido para o estado de vapor e do estado de vapor para o estado líquido, ocorre a uma temperatura de 100°C. Nestes processos de transição, onde há perda ou armazenamento de energia, designado por calor latente (Silva, 2009).

Os PCM'S são materiais que têm a capacidade de modificar o seu estado físico, num determinado intervalo de temperaturas, absorvendo ou libertando energia. Têm como objetivo, manter o calor num pequeno intervalo de temperaturas no interior do edifício através do armazenamento de energia. As argamassas de revestimento interior que contêm PCM, podem ser aplicadas nas paredes e tetos dos edifícios.

Algumas empresas em Portugal estão a estudar o desenvolvimento de rebocos com parafinas microencapsuladas, para futuramente serem disponibilizadas no mercado português. Rebocos de 2 cm de espessura com percentagem de parafinas microencapsuladas na ordem dos 10-20% têm a capacidade de armazenamento de energia igual a uma parede de betão com 20 cm de espessura (Coutinho, 2006).

Quanto à classificações dos PCM'S, estes podem ser:

- orgânicos;
- inorgânicos;
- misturas eutéticas.

2.7.1 – PCM orgânicos

Estes compostos normalmente estão baseados em parafinas, cuja temperatura de fusão se modifica em função do número de átomos de carbono que os constitui. As parafinas puras normalmente contêm 14 a 40 átomos de carbono, enquanto as ceras parafínicas possuem geralmente 8 e 15 átomos de carbono, por consequência a temperatura de fusão é inferior às das parafinas puras (Félix, 2009).

Durante o processo de fusão os PCM comparativamente com estas parafinas apresentam uma maior capacidade de armazenamento térmico, consumindo cerca de 200kJ/kg de energia. A temperatura de mudança de fase dos PCM's parafínicos, aumenta com o aumento do número de átomos de carbono, como mostra a Tabela 1.

Os PCM orgânicos são mais utilizados que os outros, apesar de o seu custo inicial ser mais elevado. A sua utilização é devida ao facto de este composto ter como vantagem não ser corrosivo nem tóxico e pelo bom comportamento térmico manter-se uniforme durante um longo período de tempo. Um dos inconvenientes deste composto é devido ao facto de poder ser inflamável e de originar fumos perigosos durante o processo de combustão.

Tabela 1 - Número de átomos de carbono, temperaturas de mudança de fase e valores de armazenamento térmico de alguns PCM parafínicos (Félix, 2009)

PCM	Nº de átomos de carbono	Temperatura de mudança de fase (°C)	Entalpia de mudança de fase (kJ/kg)
Hexadecano	16	18.5	237
Heptadecano	17	22.5	213
Octadecano	18	28.2	244
Nonadecano	19	32.1	222
Eicosano	20	36.1	247
Heneicosano	21	40.5	213

2.7.2- PCM inorgânicos

Os PCM's inorgânicos são constituídos por sais hidratados e metálicos. Estes foram os materiais mais estudados no início da investigação dos PCM's. Comparativamente com os PCM's orgânicos, estes apresentam menor estabilidade química, elevadas entalpias de transição, são mais acessíveis quanto ao custo, não são inflamáveis, mas apresentam uma maior suscetibilidade de corrosão e decomposição, podendo as suas propriedades de transição ser afetadas com o sub-arrefecimento.

A Tabela 2 apresenta materiais de mudança de fase inorgânicos como sais hidratados e metálicos.

Tabela 2 - PCM's inorgânicos (Jalali e Torgal, 2010)

Substância	Temperatura de Fusão (°C)	Entalpia de fusão (kJ/kg)
KF.4H ₂ O	18,5	231
Mn(NO ₃) ₂ 6H ₂ O	25,8	125,9
CaCl ₂ .6H ₂ O	29	190,8
LiNO ₃ .3H ₂ O	30	296
N _a 2SO ₄ .10H ₂ O	32	251

2.7.3 – Misturas eutécticas

As misturas eutécticas resultam da mistura de dois ou mais composto, cuja fusão e cristalização acontece simultaneamente. Estas podem ser de natureza orgânica, inorgânica ou de ambas, sendo possível apresentar temperaturas de transição mais adequadas à necessidade de cada caso. O comportamento destas misturas assemelha-se ao de um sal hidratado (Silva, 2009).

Têm como desvantagem, o seu custo ser elevado, duas ou três vezes maior, que os PCM's orgânicos e inorgânicos.

As misturas eutéticas têm ainda como vantagem, oferecer um calor latente por unidade de massa elevado, quando em contacto com a temperatura ambiente possuem uma baixa pressão de vapor, não possui propriedades tóxicas e corrosivas, boa estabilidade química

2.7.2 – Microencapsulamento

2.7.2.1 – Conceito

O microencapsulamento do material mudança de fase, consiste em envolver partículas de um material em estado líquido ou sólido, designado por núcleo, por um outro material no estado sólido normalmente um polímero, designado por cápsula, esférica, cujo tamanho está compreendido entre $0,020\mu\text{m}$ e os $2000\mu\text{m}$. O processo de microencapsulamento, permite que o PCM não altere as suas propriedades físicas nem volumétricas.

A vantagem do microencapsulamento, passa pelo aumento da razão superfície/volume do PCM sendo beneficiada a transferência de calor entre o material e o meio ambiente. A descrição dos processos de microencapsulamento está apresentada na tabela 3.

Tabela 3 - Processos de microencapsulamento (Alves, 2011)

Processos	Descrição
Químicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Polimerização por emulsão, dispersão, suspensão; ▪ Policondensação interfacial, por dispersão por suspensão.
Físico-Químicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Evaporação do solvente; ▪ Suspensão por cross-linking; ▪ Coacervação; ▪ Extrusão.
Mecânicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revestimentos; ▪ Extrusão, ▪ Spray; ▪ Deposição de fluidos; ▪ Micronização.

2.7.2.2 – Técnicas de Microncapsulamento de PCM

Com o processo de microencapsulamento, pretende-se que o material de mudança de fase se mantenha no interior da microcápsula em condições usuais de manuseamento e apenas se envolva com o ambiente, garantindo assim as condições de funcionamento do PCM.

Um processo vulgar de microencapsular um material de mudança de fase, é através da introdução de gotas de PCM numa solução aquosa na qual se formam paredes de polímero à volta das gotículas, utilizando técnicas tais como a coacervação, a policondensação interfacial entre outros processos de polimerização in-situ. Existe uma grande variedade de materiais para o fabrico da cápsula, podendo ser de poliureia, poliuretano, polimetilmetacrilato, polivinilacetano, poliestireno ou resinas de ureia - formaldeído ou melamina - formaldeído.

No processo de microencapsulamento de PCM através da policondensação interfacial é utilizada a melamina-formaldeído como pré polímero, obtendo-se a parede da microcápsula. Neste processo mistura-se um óleo emulsionado em água usando polímeros solúveis e agitadores de elevada rotação que vão dar origem a uma emulsão estável contendo gotícula de óleo com um tamanho pretendido (Félix, 2009).

2.7.2.3 – Aplicação de PCM na construção

A energia térmica pode ser transmitida por radiação e por convecção, estando associada a este tipo de energia a exploração do PCM na construção, uma vez que se pretende melhorar o funcionamento térmico dos edifícios sem recorrer a energias não renováveis. O fenómeno de radiação é estudado através da incorporação de PCM em paredes, tetos e pavimentos que na forma passiva, trabalhando como base no conceito de arquitetura solar, e na forma ativa, funcionando como sistema híbrido através da conjugação com o sistema ventilação natural. No fenómeno de convecção o PCM é estudado através da transferência em sistemas de ventilação e ar condicionado, no qual se faz passar uma corrente de ar quente ou frio no seio do PCM ou em contacto direto com uma suspensão de PCM (Silva, 2009).

2.8 – Fibras

As fibras sintéticas de poliamida, normalmente chamadas pelo nome comercial “nylon” foram das primeiras fibras a serem sintetizadas a partir do petróleo, gás natural, ar e água. A poliamida é um polímero sintético, com uma estrutura química que se assemelha à de uma proteína.

Para se diferir os vários tipos de poliamidas usa-se o número de átomos de carbono que existem nas moléculas das matérias-primas.

As propriedades mais importantes das poliamidas são (Morton, 1986):

- ótima tenacidade;
- elevada resistência à abrasão;
- elevada resistência aos agentes químicos sintéticos e naturais;
- baixo coeficiente de atrito;
- baixa absorção de humidade;
- rápida secagem e grande poder de resistência contra insetos nocivos e ao apodrecimento.

As fibras de poliamida armazenam alta carga eletrostática quando a humidade é inferior a 50%.

A introdução de fibras nas argamassas de revestimento, tem como objetivo controlar a retração, assim como tornar as argamassas mais sustentáveis. Uma mistura de argamassa adequada poderá ser um problema de pesquisa uma vez que três fatores devem ser considerados na sua preparação, durabilidade, economia e compatibilidade.

Na presente dissertação de mestrado, serão utilizadas fibras de poliamida. Estas fibras foram introduzidas pelo facto de aumentarem a resistência às tensões, principalmente de tração, e, por outro lado, diminuir a fragilidade da matriz produzindo peças mais flexíveis, sendo economicamente viáveis.

Quanto ao mecanismo de reforço de uma fibra, estes dependem essencialmente das características das mesmas, ou seja:

- resistência aos esforços;
- alongamento das fibras;

- módulo de elasticidade;
- resistência ao cisalhamento;
- coeficiente de poisson;
- elasticidade;
- forma e textura da fibra.

Este tipo de fibras sintéticas possuem a desvantagem de, em estado fresco, atenuarem a trabalhabilidade da argamassa, sendo necessário estudar a quantidade indicada para impedir este processo. Já no estado endurecido as fibras são boas inibidoras do aparecimento de fissuras por retração, pois absorvem os esforços mais pequenos produzidos pela retração enquanto que a argamassa ganha resistência mecânica e módulo de elasticidade razoáveis.

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E COMPOSIÇÕES

3.1 – Materiais Utilizados na Preparação Das Argamassas

Os materiais utilizados na preparação das argamassas, foram já utilizados em trabalhos anteriores, apenas diferenciando os fornecedores de materiais. Serão efetuados ensaios para melhor compreender a influência dos materiais nomeadamente no que diz respeito à retração, componente que se pretende controlar.

3.1.1 – Gesso

O gesso (figura 15) utilizado é comercializado pela SIVAL, sendo designado por Gesso estuque fino, fabricado segundo a norma EN 13279 – 1 e fornecido em sacos de 30kg. É de uso direto, muito fino, de aplicação manual, sendo a reação ao fogo do tipo A1.



Figura 15 - Gesso

3.1.2 – Cal

A cal utilizada na preparação das argamassas, é comercializada pela Calcidrata e fornecida em sacos de 22kg. Os dados técnicos estão mencionados na Tabela 5. O aspecto visual da cal poderá ser visualizado ver na Figura 16.

Tabela 4 – Características da cal

Aspetto	Pó fino de cor branca a bege
pH	12,4
Densidade relativa	2,24
Ponto de fusão	>450° C



Figura 16 - Cal aérea

3.1.3 – Areia

A areia (Figura 17) utilizada para a confecção das argamassas é designada por S50, sendo que o tamanho dos agregados está compreendido entre 241,5 e 675,6 μ m para um tamanho médio de 439,9 μ m (Alves, 2011).



Figura 17 - Areia

3.1.4 – PCM

O PCM incorporado nas argamassas é fornecido pela empresa DEVAN Micropolis, cujo nome comercial deste produto é Mikratherm D24, o tamanho médio das partículas é de 18 μ m e apresenta uma entalpia de 147,9 J/g, temperatura de transformação de fase 23° a 25°C. A figura 18 ilustra o aspecto deste material.



Figura 18 - PCM

3.1.5 – Superplastificante

Para a preparação das argamassas foi utilizado superplastificante GLENIUM 52 da BASF. Tem como principal função reduzir a razão água/ligante, aumentando assim a trabalhabilidade das argamassas. A Figura 19 mostra o aspecto do superplastificante.

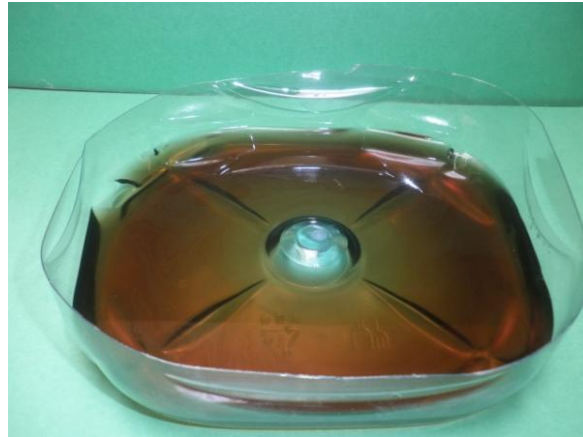


Figura 19 - Superplastificante

3.1.6 – Fibras

As fibras utilizadas na produção das argamassas, são fibras sintéticas de poliamida, com um comprimento de 6 mm e densidade de 1380 kg/m^3 . As suas principais funções estão descritas no ponto 2.8, sendo que as suas forma e textura podem ser observadas na Figura 20.



Figura 20 - Fibras de poliamida

3.1.7 – Água

No fabrico das argamassas, foi utilizada água potável, proveniente da rede de abastecimento público da cidade de Guimarães, Universidade do Minho.

3.2 – Composições Estudadas

O Quadro 2 apresenta as composições estudadas neste trabalho

Quadro 2 - Composições das argamassas estudadas

Composições	%PCM	%Areia	%Superplastificante	%Fibras	%Gesso	%Água
C100G0PCM0	0	561.4	0	0	0	19
C100G0PCM20	20	561.4	1	0	0	25
C100G0PCM20F	20	561.4	1	0.1	0	25
C90G10PCM0F	0	561.4	0	0.1	10	23.5
C90G10PCM10F	10	561.4	1	0.1	10	16.5
C90G10PCM20F	20	561.4	1	0.1	10	25.6
C90G10PCM30F	30	561.4	1	0.1	10	39
C80G20PCM20F	20	561.4	1	0.1	20	26
C60G40PCM20F	20	561.4	1	0.1	40	27

Nota: Fibras, Superplastificante e PCM em % da massa total de Areia, Gesso e Cal. Areia e Gesso em % da massa de Cal.

CAPÍTULO 4 – PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

4.1 – Ensaio laboratoriais

Os ensaios realizados para a presente dissertação foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Minho. As componentes necessárias à realização dos ensaios e confeção das argamassas foram todas disponibilizadas.

Os ensaios realizados serviram de base à verificação da variação da retração no estado fresco e endurecido. Das nove composições foram selecionadas cinco, variando entre elas a percentagem de gesso e a introdução ou não de fibras. O ensaio de perda de massa foi realizado em todas as argamassas e em conjunto com o ensaio de retração em estado endurecido.

4.2 – Trabalhabilidade

A trabalhabilidade das argamassas foi avaliada através do ensaio de espalhamento, cujo procedimento está descrito na norma EN 1015-3. O ensaio foi realizado logo após o fabrico da argamassa.

Este ensaio é realizado com a ajuda de uma mesa de espalhamento, um molde tronco-cónico, dentro é colocada argamassa até metade do cone seguida de 20 pancadas, como ilustra a Figura 21. Coloca-se mais uma camada de argamassa e retira-se com cuidado o cone, é compactada com 25 pancadas. Mede-se o diâmetro da argamassa que ficou espalhada na mesa em dois locais.

O resultado pretendido para o ensaio de trabalhabilidade, está compreendido entre 160-180 mm, como apresenta a Tabela 5.

A trabalhabilidade das argamassas, está relacionada com a quantidade de água, sendo esta a necessária para a hidratação de todos os componentes da argamassa e manter a trabalhabilidade necessária.



Figura 21 - Procedimento do ensaio de espalhamento

Tabela 5 - Resultados dos ensaios de espalhamento

Composições	Espalhamento 1 (cm)	Espalhamento 2 (cm)	Espalhamento médio (cm)
C100G0PCM0	$\varnothing_1=16,5$ $\varnothing_2=16,5$	$\varnothing_1=16,2$ $\varnothing_2=16,5$	16,4
C100G0PCM20	$\varnothing_1=17,0$ $\varnothing_2=17,5$	$\varnothing_1=16,2$ $\varnothing_2=16,5$	16,8
C100G0PCM20F	$\varnothing_1=16,5$ $\varnothing_2=17,0$	$\varnothing_1=17,0$ $\varnothing_2=17,2$	16,9
C90G10PCM0F	$\varnothing_1=17,0$ $\varnothing_2=17,5$	$\varnothing_1=16,0$ $\varnothing_2=16,5$	16,8
C90G10PCM10F	$\varnothing_1=17,0$ $\varnothing_2=17,2$	$\varnothing_1=16,9$ $\varnothing_2=17,3$	17,1
C90G10PCM20F	$\varnothing_1=17,0$ $\varnothing_2=17,2$	$\varnothing_1=17,5$ $\varnothing_2=17,5$	17,3
C90G10PCM30F	$\varnothing_1=16,2$ $\varnothing_2=16,3$	$\varnothing_1=16,3$ $\varnothing_2=16,5$	16,3
C80G20PCM20F	$\varnothing_1=17,2$ $\varnothing_2=18$	$\varnothing_1=17,2$ $\varnothing_2=16,7$	17,3
C60G40PCM20F	$\varnothing_1=16,8$ $\varnothing_2=17,5$	$\varnothing_1=17,0$ $\varnothing_2=17,8$	17,3

4.3 - Preparação das argamassas e preparação dos provetes

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão e flexão é necessário a preparação das argamassas. Primeiramente pesam-se todos os constituintes das argamassas, para quando iniciar a amassadura todos os componentes estarem disponíveis nas devidas proporções.

No fabrico das argamassas foi utilizada uma balança eletrónica (Figura 22) para pesar os materiais, uma seringa para medir a água e uma misturadora mecânica, (Figura 23).



Figura 22 - Balança eletrônica



Figura 23 - Misturadora mecânica e seringa

No procedimento de fabrico das argamassas, coloca-se no balde da misturadora a água, fibras e superplastificante, sempre que a argamassa em estudo possua estes dois materiais, liga-se durante 30 segundos na velocidade 1. Pára-se a misturadora retira-se o balde e adiciona-se o PCM, misturar 120s na velocidade 1. Pára-se novamente a misturadora, adiciona-se a cal e a areia e mistura-se na velocidade 2 durante 120s (Figura 24). Passados 2 minutos a amassadura está pronta a ser utilizada.



Figura 24 - Processo de Fabrico das argamassas

A preparação dos provetes, passa pelo enchimento de moldes, fabricados em aço, cada com três provetes (Figura 25), de dimensões $40 \times 40 \times 160$ (mm³).

Começa-se por untar os moldes com óleo, funcionando como material lubrificante, enchem-se os provetes, mais o menos até meio e compacta-se com um peso de 5kg em 25 pancadas, enche-se o restante e novamente 25 pancadas.

Imediatamente após o processo de moldagem, cobrem-se os moldes com um saco plástico para que a perda de humidade seja rápida durante sete dias. Passado o tempo estipulado realiza-se a desmoldagem com a ajuda de um martelo. Os provetes serão ensaiados aos 28 dias de idade quer à compressão quer à flexão.



Figura 25 - Molde para provetes 40x40x160 (mm³)

4.3.1– Resistência à flexão

Os ensaios de resistência à flexão, foram realizados numa prensa eletromecânica. Os procedimentos utilizados foram os indicados na norma EN 1015-11 (1999).

A resistência à flexão foi determinada do seguinte modo:

- 1) Retiram-se os provetes de dimensões 40×40×160 (mm³) da sala de acondicionamento, onde a temperatura se mantém constante;
- 2) Marcam-se os provetes com 3cm de cada lado e ao meio 8cm, de forma a que as superfícies que transmitem a carga estabeleçam contacto com as faces de moldagem (Figura 26);
- 3) Posicionam-se os provetes na prensa para o ensaio à flexão, aplica-se a carga até levar à rotura;
- 4) Regista-se o valor máximo da força, para a qual o provete atingiu a rotura. A força dada é determinada pelo software da prensa eletromecânica;
- 5) Calcula-se a resistência à flexão pela equação 1.

$$R_F = 1.5 \times \frac{F \times l}{b \times d^2} \quad (1)$$

Onde:

F – força máxima aplicada no ensaio aquando da rotura do provete (N)

l - distância entre os apoios onde é colocado o provete (100mm)

b – comprimento da secção do provete (40mm)

d – altura da secção do provete (40mm)

- 6) O procedimento é repetido para os restantes provetes. Antes de cada utilização verificar sempre se a prensa está limpa, para não haver alterações de resultados;
- 7) No final do ensaio de flexão, guardam-se os provetes para iniciar o ensaio de compressão.

O ensaio de resistência à flexão foi realizado com o controlo de força, a uma velocidade de 10N/s.



Figura 26 - Provete no ensaio à flexão

4.3.2 – Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão tal como de resistência à flexão, foram realizados segundo a norma EN 1015-11 (1999).

O procedimento de ensaio é descrito do segundo modo:

- 1) No final do ensaio de flexão, inicia-se o ensaio de compressão. Os provetes a serem estudados são as duas metades de cada provete que restaram do ensaio de flexão;
- 2) Coloca-se o suporte do ensaio de compressão na prensa eletromecânica (Figura 27);
- 3) Posiciona-se o provete no centro do dispositivo de modo a que a força a ser exercida seja assegurada pela área de contacto das faces de moldagem (Figura 28);
- 4) Aplica-se a carga no provete até o levar à rotura;
- 5) É registado o valor da força máxima para o qual o provete atinge a rotura de compressão. A força dada é determinada pelo software da prensa eletromecânica;

- 6) Determina-se a resistência à compressão através da equação 2.

$$R_c = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Em que:

F - força máxima de rotura à compressão (N)

A - Área de aplicação da carga (1600 mm²)

- 7) O procedimento é repetido para os restantes provetes. Antes de cada utilização verificou-se sempre se a prensa estava limpa, para não haver alterações de resultados.

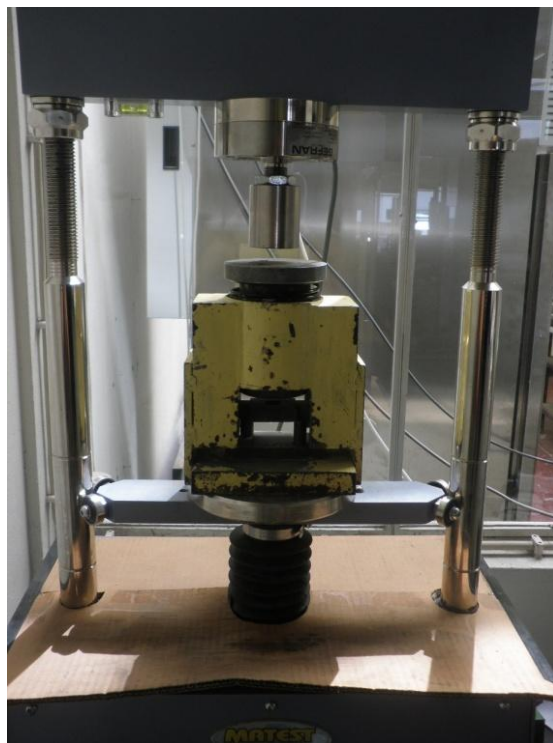


Figura 27 - Prensa eletromecânica, ensaio de resistência à compressão



Figura 28 - Provete no ensaio à compressão

O ensaio de compressão foi realizado com o controlo de força, a uma velocidade de 50N/s.

4.4 – Retração

4.4.1 – Preparação das argamassas

O procedimento e confeção das argamassas é efetuado do mesmo modo que as argamassas para o ensaio de resistência à flexão e compressão, variando a quantidade de argamassa e as dimensões dos provetes que passa a ser de $25 \times 25 \times 250$ (mm³).

4.4.2 – Retração no estado fresco

Após o fabrico a argamassa é colocada num molde de aço inoxidável, devidamente untado com óleo lubrificante. O molde está assente numa base de madeira para segurar as duas travessas que irão suportar os seis transdutores de deslocamento (Figura 29). Cada provete possui dois transdutores de deslocamento, para permitir a medição da variação da retração nos provetes. Os transdutores estão conectados a um sistema de obtenção de dados (Figura 30).



Figura 29 - Molde 25x25x250 (mm³) assente na base de madeira

A retração em estado fresco é medida logo após a colocação da argamassa no molde, uma vez que a grande parte da variação da retração ocorre nas primeiras horas.



Figura 30 - Aparelho de obtenção de dados

Para se obter uma maior força de distribuição exercida pelos transdutores à argamassa, foram colocados no interior do molde pernos de aço de dimensões 25×25 (mm²) como é ilustrado na Figura 31. Aquando da ligação dos transdutores com a argamassa, verifica-se um ligeiro deslocamento da argamassa ± 3 mm, devido à força exercida pelo transdutor na sua colocação.



Figura 31 - Pernos

O óleo utilizado como lubrificante tem como objetivo reduzir as forças de atrito que não podem ser eliminadas. Estas são criadas pela rugosidade do molde na argamassa. Para não haver alterações nos dados registados e evitar desníveis no molde, este foi devidamente colocado numa mesa. O procedimento de colocação das argamassas foi igual para todas as composições, este cuidado é devido ao facto de não haver variações bruscas de resultados das diferentes argamassas e para que os resultados dos ensaios seja coerente entre as argamassas. Assim, a argamassa colocada no provete 1 da argamassa 1 foi colocada de igual modo no mesmo molde, com a mesma força aplicada pelos transdutores da argamassa 2 do provete 1 (Figura 32).



Figura 32 - Argamassa conectada com os transdutores

O valor da retração é retirado logo após a moldagem e consecutivamente até ao sétimo dia, no qual é feita a desmoldagem. Nestes intervalos de dias é retirado o maior número de valores possíveis, aumentando o intervalo do tempo, uma vez que a retração começa a

estabilizar. Para cada provete são retirados dois valores de retração, que serão somados para o valor de retração total. O valor de retração é dado pela média dos três provetes.

O valor da retração total no estado fresco é obtido pela equação 3.

$$\varepsilon = \frac{Li - Lt}{250} \quad (3)$$

Onde:

E - valor da retração

Li - valor da primeira medição

Lt - valor da medição efetuada ao tempo t

Após o sétimo dia é feita a última leitura dos valores, e efetua-se a desmoldagem, os provetes são identificados com um marcador, sendo que de seguida se procede à medição da retração com o comparador analógico, este processo repete-se para todas as composições.

4.4.3 – Retração no estado endurecido

O ensaio de retração no estado endurecido é realizado logo após a desmoldagem das argamassas. A medição da retração é efetuada através de um comparador analógico (Figura 33). Este aparelho possibilita a medição pontual da retração no tempo, através da colocação do provete, pelos pernos se encontram presos ao comparador analógico, após a fixação do provete é lido o valor da retração.

Após a desmoldagem da argamassa são efetuadas as medições pontuais da retração com o comparador analógico. Antes de cada medição da composição a ser estudada é realizada a leitura da barra padrão calculando a média dos valores lidos com a extremidade “up” para cima e a extremidade “down” para baixo. É realizada a medição de cada provete com a face “up” voltada para cima e retirados os valores das quatro faces do provete fazendo-o rodar, o mesmo procedimento com a face “down” voltada para cima. O valor da retração é a média dos oito pontos lidos no comparador analógico, e sempre em relação ao valor do primeiro momento. O valor da retração final é dado pela equação 4.

$$\varepsilon = \frac{(L_i - L_t) - (L'_i - L'_t)}{250} \quad (4)$$

Em que:

ε - valor da retração

L_i - valor da primeira medição do provete

L_t - valor da medição efetuada ao tempo t do provete

L'_i - valor da primeira medição da barra padrão

L'_t - valor da medição da barra padrão efetuada ao tempo t

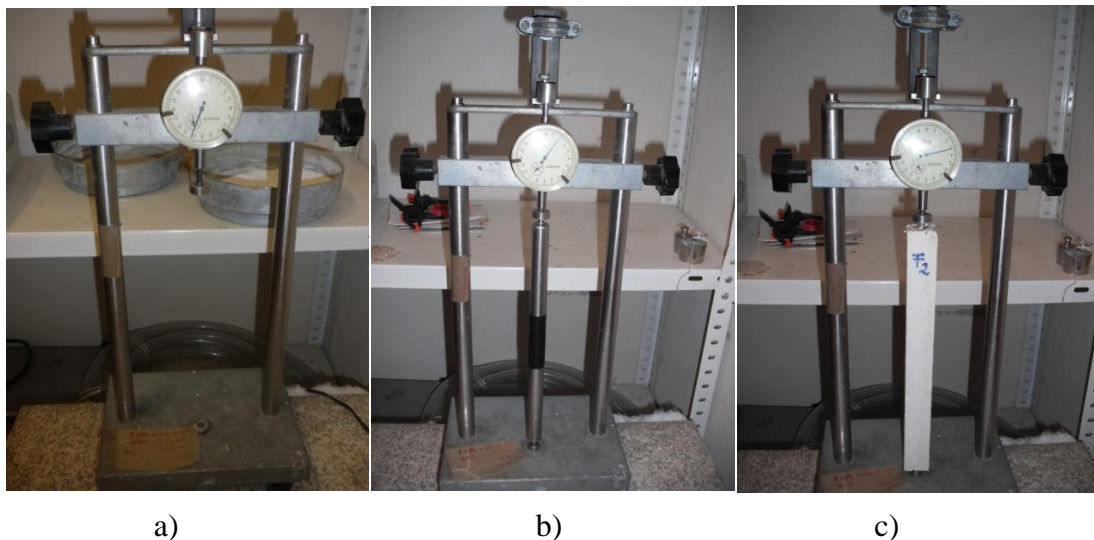


Figura 33 – a) Comparador analógico, b) comparador analógico com barra padrão, c) comparador analógico com provete

O valor da retração foi retirado no comparador analógico desde o sétimo dia até aos 28 dias sendo as leituras não consecutivas. Sempre que se fazia uma medição de um provete com a sua colocação no armazenamento eram trocadas as posições das faces, para que os valores em cada face fossem todos coerentes. Os provetes estavam acondicionados numa sala, com temperatura e humidade relativa controlada com o equipamento ilustrado na Figura 34.



Figura 34 - Controlo da temperatura e humidade relativa

4.5 – Perda de Massa

O ensaio de perda de massa, foi efetuado apenas em estado endurecido uma vez que no estado fresco o aparelho de medição da variação de retração não poderia ser movido. Para este ensaio e antes da colocação da argamassa no molde, foram pesados os pernos e o molde separadamente, logo após o enchimento com argamassa, pesou-se o molde com os pernos e a argamassa, com o auxílio de uma balança (Figura 35). Após a desmoldagem foi subtraído ao peso dos provetes o peso dos pernos para se obter o valor total do provete. O peso total apresentado, é relativo à soma dos três provetes, obtendo assim a perda de massa dos provetes. A perda de massa foi calculada desde a desmoldagem até aos 28 dias de idade de cada composição, efetuando-se pesagens pontuais, com recurso a uma balança eletrónica rigorosa (Figura 36).



Figura 35 - Balança antes da desmoldagem

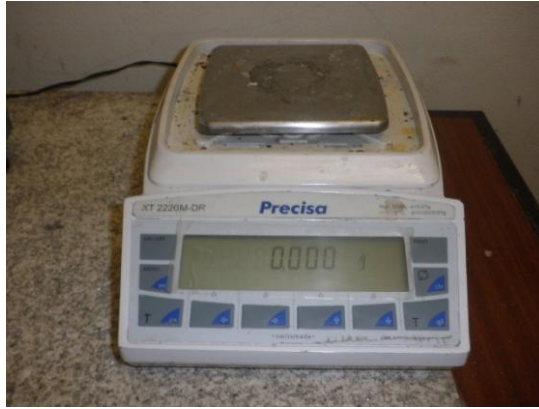


Figura 36 - Balança após desmoldagem

A perda de massa de cada composição é dada pela equação 5.

$$\Delta M = \frac{m_i - m_t}{m_i} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

ΔM - perda de massa da composição;

m_i - Valor da massa inicial da composição em estudo;

m_t - valor da massa da composição em estudo ao tempo t .

CAPÍTULO 5 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

5.1 – Controlo da temperatura e humidade relativa

Os valores da temperatura e humidade relativa foram fornecidos a partir do Data Logger USB, os gráficos estão representados no Anexo I.

A temperatura e humidade relativa foram sempre medidas durante o ensaio das argamassas e acondicionamento dos provetes após a sua desmoldagem. Da análise dos gráficos poderá

ver-se umas pequenas oscilações quer da temperatura quer da humidade relativa, tal facto poderá dever-se à sala não estar devidamente isolada ou então poderá estar relacionado com a abertura da porta, pois para fazer as medições das argamassas, quando estas ainda estavam em estado fresco, era necessário entrar na sala e daí a abertura constante da porta.

Este controlo era importante na medida em que os provetes deveriam estar protegidos para não haver grandes trocas de CO₂ e evaporação da água entre outras influências que poderiam prejudicar os valores dos ensaios.

Ao longo dos ensaios a temperatura mínima registada foi de 22,5°C e a máxima temperatura foi de 25,5°C. Os valores da humidade relativa foi de 53,5% mínima e de 74,5% máxima.

5.2 – Ensaio de Perda de Massa no Estado Endurecido

O ensaio de perda de massa, permite avaliar a variação da perda de massa da argamassa, devido à retração por dessecação, ou seja, devido à perda de água para o exterior.

A Figura 37 mostra o comportamento das diferentes argamassas, desde a sua desmoldagem até aos 28 dias de idade.

A argamassa de referência (C100G0PCM0) é aquela que apresenta maior perda de massa após a desmoldagem, tal facto deve-se a esta argamassa possuir maior quantidade de água que as restantes composições.

As composições C100G0PCM20 e C100G0PCM20F são as primeiras a atingirem o máximo de perda de massa de 1,88% e de 1,90% aos 18 dias, respetivamente. A composição C80G20PCM20F e C60G40PCM20F atingem o máximo valor aos 28 dias, 1,11% e 0,80% respetivamente.

Verifica-se uma diminuição da perda de massa de todas as composições em relação à composição C100G0PCM0. A partir do 18 dia a composição C100G0PCM20F tem um aumento em relação à composição C100G0PCM20 em relação à composição de referência.

Com a incorporação de 20% de gesso, composição C80G20PCM20F, observa-se uma descida da perda de massa relativamente às restantes composições com exceção da composição C60G40PCM20F.

Caso a percentagem de gesso seja 40%, composição C60G40PCM20F a perda de massa é ainda mais evidente, em comparação com as restantes composições.

Devido à introdução de gesso, observa-se uma descida da perda de massa, uma vez que o gesso endurece por hidratação.

Pode-se assim concluir que com a mesma percentagem de PCM, e de fibras há uma diminuição da perda de massa das argamassas com o aumento da dosagem de gesso.

A variação da perda de massa da composição C100G0PCM20 sem incorporação de fibras e gesso para a composição C60G40PCM20F com fibras e gesso é de 56%.

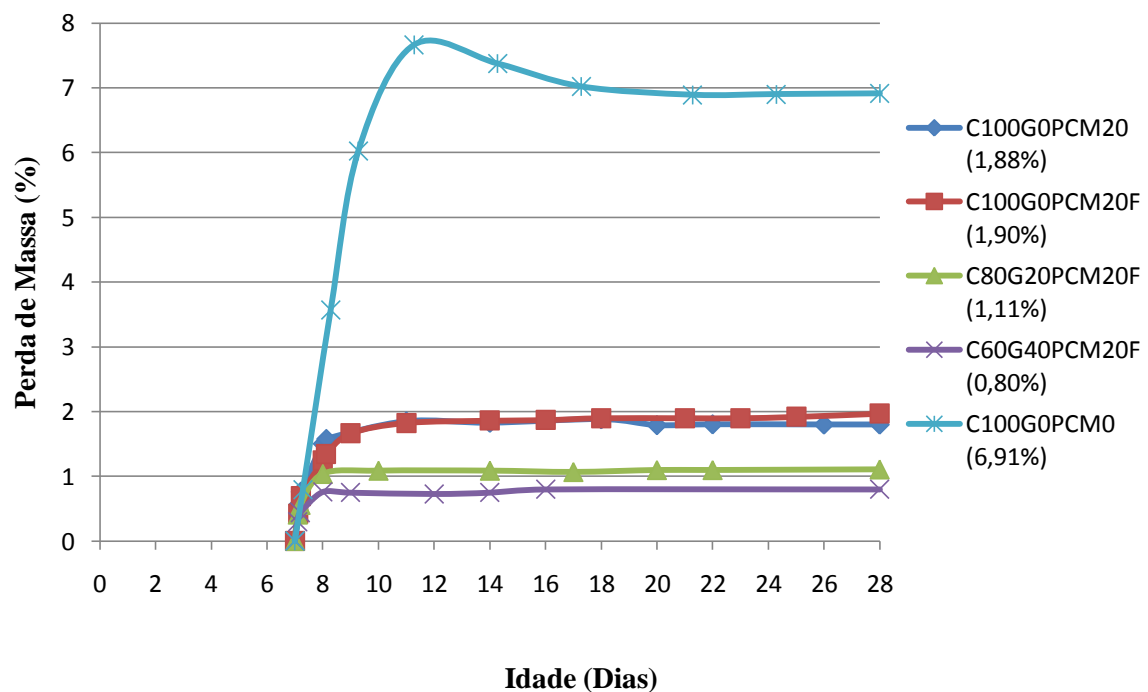


Figura 37 - Variação da perda de massa após a desmoldagem

5.3 – Resistência à Flexão e Resistência à Compressão

As argamassas cujo ligante é cal aérea endurecem por carbonatação. Este processo faz aumentar as resistências mecânicas. A Tabela 6 apresenta as resistências mecânicas das composições estudadas aos 28 dias.

Pode observar-se que a composição C90G10PCM10F com 10% de PCM, possui os valores de resistências mecânicas mais elevadas, tal efeito poderá ser devido à quantidade de água desta composição ser a menor. Como a quantidade de água é reduzida há um menor número de poros na argamassa.

A argamassa com 20% de PCM (C100G0PCM20) comparativamente com a argamassa de referência, composição C100G0PCM0, tem um aumento de 41% da resistência à flexão e na resistência à compressão um aumento de 64%.

Comparando as argamassas com 10% de PCM (C90G10PCM10F) e a argamassa de referência (C100G0PCM0), a resistência à flexão tem um aumento de 65% enquanto que a resistência à compressão um aumento de 128%.

Apesar de as resistências mecânicas serem mais elevadas com a incorporação de 10% de PCM, entende-se que esta quantidade é reduzida com vista ao efeito térmico. Por outro lado, a incorporação de 30% de PCM não conduz ao aumento das resistências mecânicas em comparação com a incorporação de 20% de PCM, o que leva a concluir que esta percentagem é ótima.

Tabela 6 - Resistências mecânicas das composições aos 28 dias

Composições	Água (%)	Resistência à flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
C100G0PCM0	19	0,17	0,25
		[10,98]	[8,09]
C100G0PCM20	25	0,24	0,41
		[7,56]	[8,20]
C100G0PCM20F	25	0,20	0,35
		[6,93]	[10,02]
C90G10PCM0F	23,5	0,15	0,25
			[4,00]
C90G10PCM10F	16,5	0,28	0,57
			[6,23]
C90G10PCM20F	25,6	0,15	0,34
		[9,12]	[6,97]
C90G10PCM30F	39	0,13	0,36
		[7,07]	[12,36]
C80G20PCM20F	26	0,22	0,52
		[13,93]	[11,51]
C60G40PCM20F	27	0,25	0,57
		[10,62]	[13,11]

Nota: Em parêntesis retos está indicado os coeficientes de variação em percentagem dos provetes

5.4 – Retração

A Figura 38 apresenta os valores da retração da argamassa de referência. Esta argamassa é a que mais se assemelha às argamassas tradicionais usadas como revestimento, apenas contendo na sua composição água, cal e areia. Após a moldagem da argamassa, esta retrai-se logo nas primeiras horas, sendo os valores de retração variáveis, atingindo às 24 horas o valor de 2,63 $\mu\text{m}/\text{m}$.

A Figura 39 representa a continuidade da evolução da retração até aos 7 dias de idade da argamassa C100G0PCM0. Por análise do gráfico da Figura 39, verifica-se que é nos primeiros três dias que a retração da argamassa é mais acentuada, uma vez que a partir do quarto dia a retração já começa a estabilizar até ao sétimo dia atingindo um valor de 6,02 $\mu\text{m}/\text{m}$.

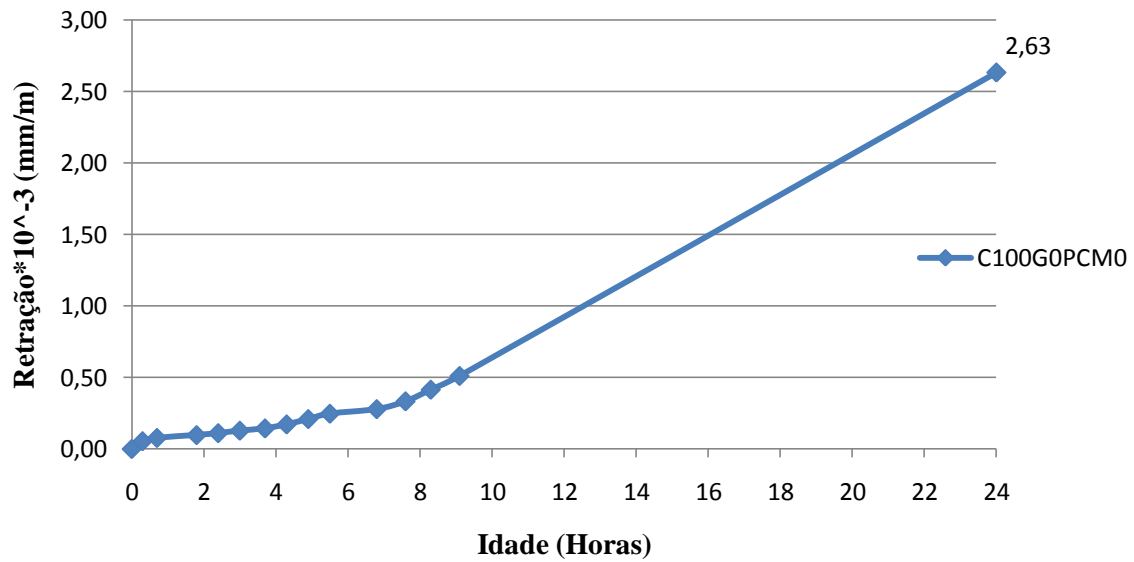


Figura 38 - Ensaio de retração desde a moldagem até às 24 horas da argamassa C100G0PCM0

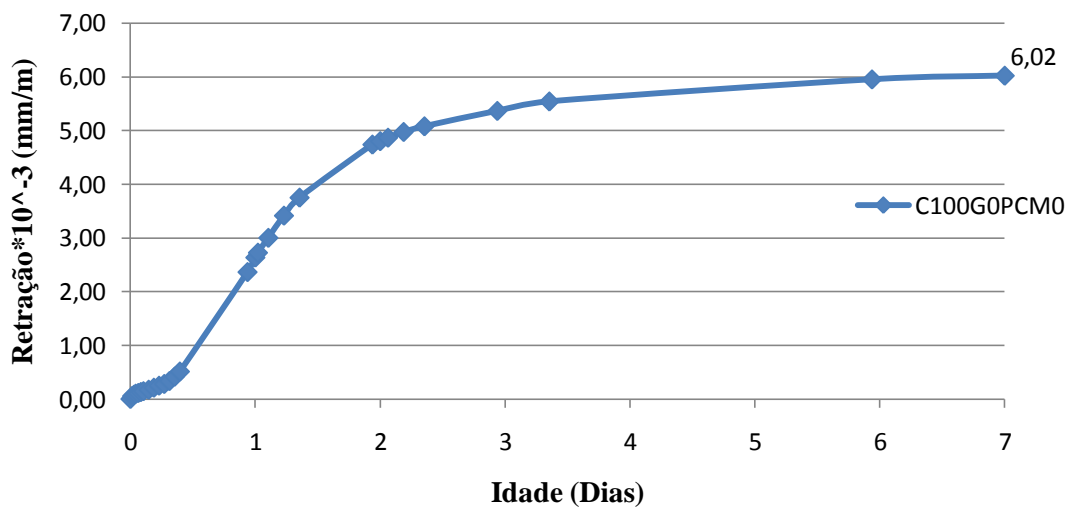


Figura 39 - Ensaio de retração desde a moldagem até aos 7 dias da argamassa C100G0PCM0

A figura 40 apresenta a evolução da retração desde a sua moldagem até aos 28 dias de idade da argamassa de referência. Verifica-se relativamente que no estado fresco ao 3º dia a argamassa começa a estabilizar, após a desmoldagem, é a partir do 13º dia que os valores da retração começam a ficar constantes.

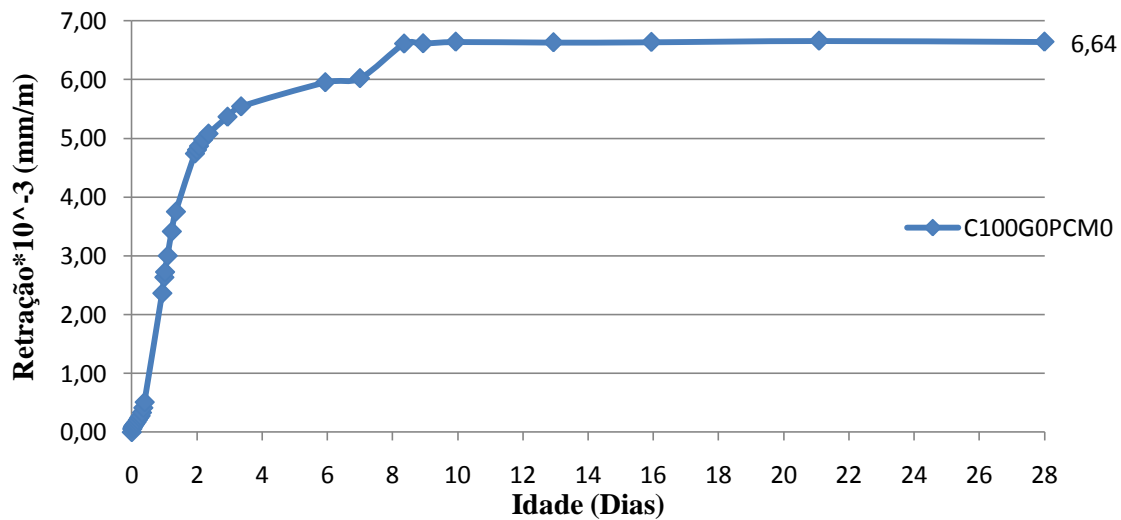


Figura 40 - Variação da retração da argamassa C100G0PCM0 desde a moldagem até aos 28 dias

Na Figura 41, encontra-se ilustrado, a variação da retração da argamassa C100G0PCM20 desde a sua moldagem até às 24 horas. Nesta composição e em comparação com a argamassa de referência (C100G0PCM0) é introduzido 20% de PCM, que levará a um aumento na retração de 88%. O PCM por si só, não ajuda no controlo da retração para tal é necessário utilizar outros materiais aquando a sua utilização. O aumento da retração da argamassa C100G0PCM20 em relação à argamassa da C100G0PCM0 deve-se à maior quantidade de água utilizada na composição com PCM.

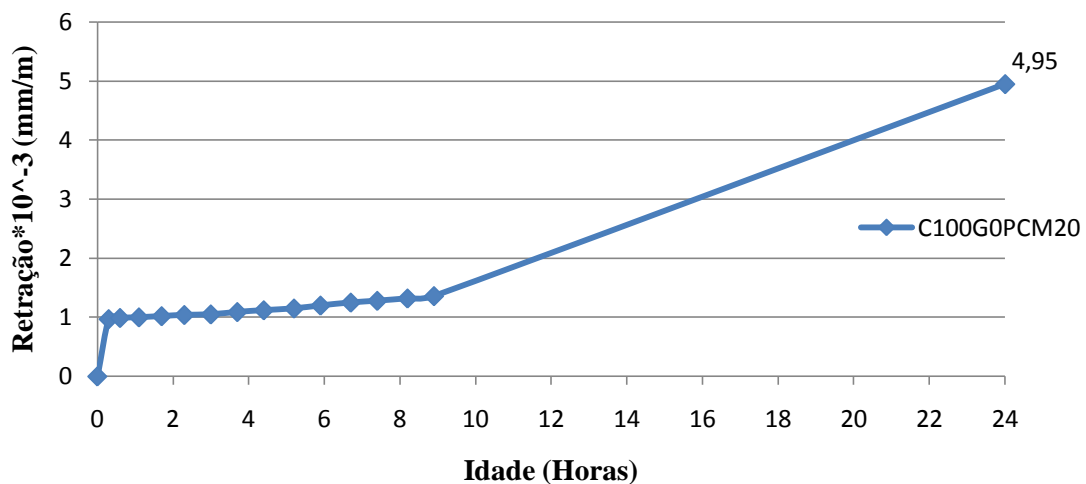


Figura 41 - Ensaio da retração desde a moldagem até às 24 horas da argamassa C100G0PCM20

Na Figura 42, observa-se a continuação da evolução da retração até aos 7 dias. Com a introdução do PCM a argamassa tem uma variação gradual até ao 4º dia, começando a estabilizar ao 5º dia, atingindo o valor máximo de 7,16 $\mu\text{m/m}$.

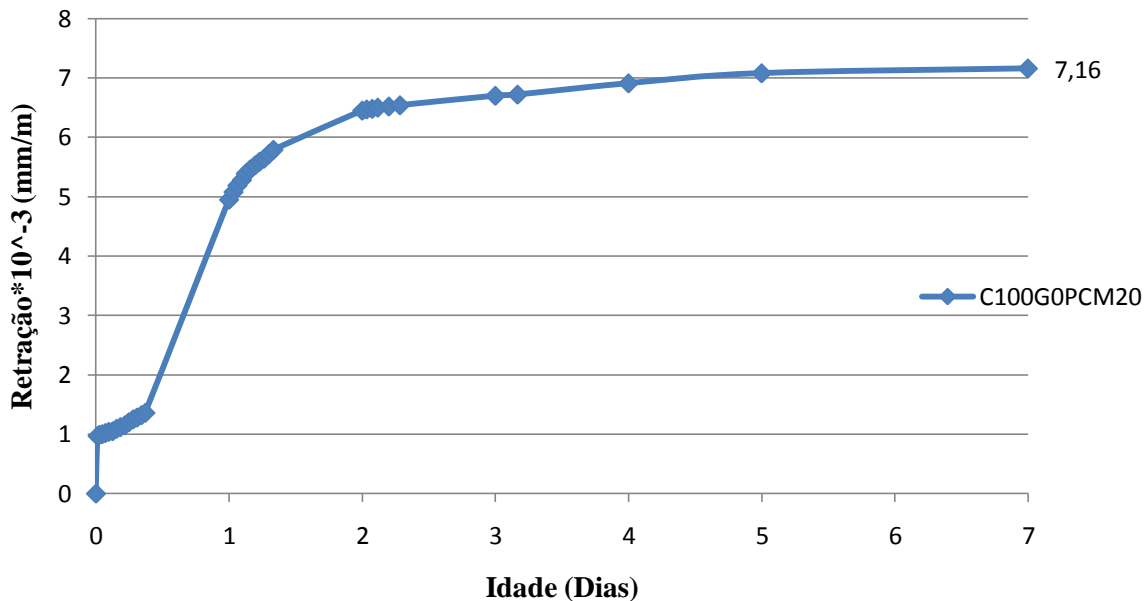


Figura 42 - Ensaio de retração desde a moldagem até aos 7 dias da argamassa C100G0PCM20

Na Figura 43, está representado o comportamento da argamassa C100G0PCM20 desde a moldagem até aos 28 dias. O valor da retração do 7º dia para o 8º dia, subiu ligeiramente, uma vez que ao 7º dia a argamassa foi desmoldada e o equipamento de medição da retração utilizado no estado endurecido é diferente do estado fresco. Tendo a argamassa ao 28º dia um valor de 9,60 $\mu\text{m/m}$.

Após a desmoldagem da argamassa os moldes extremos fissuraram, o que levou a que no estado endurecido o ensaio foi realizado apenas com um provete. Tal acontece, devido aos provetes externos no molde terem condições de temperatura diferentes do molde central.

Para tentar melhorar este problema de fissuração, em vez do óleo descofrante foi utilizada vaselina. O resultado não foi o esperado uma vez que a argamassa absorvia a vaselina, ficando o seu aspeto estético alterado. Após a desmoldagem estes provetes também fissuraram.

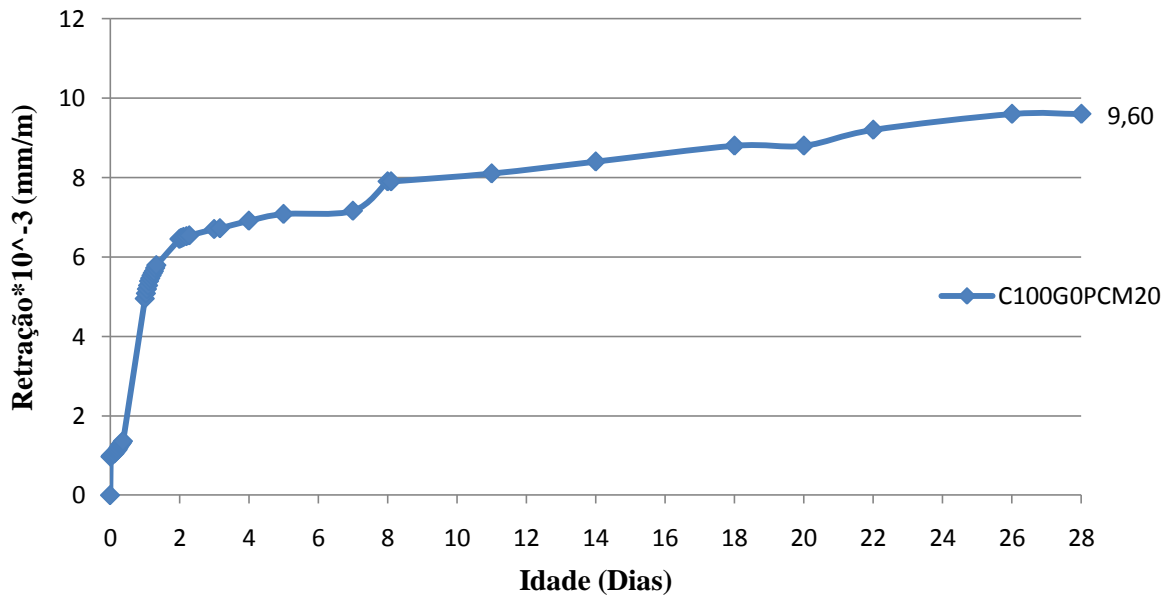


Figura 43 - Ensaio de retração desde a moldagem até aos 28 dias da argamassa C100G0PCM20

Na Figura 44 observa-se a curva da variação da retração da argamassa C100G0PCM20F até às 24 horas. Esta argamassa difere da argamassa C100G0PCM20, devido à introdução de fibras de poliamida.

Nas primeiras 24 horas estas argamassas com a introdução de fibras, têm o valor de retração mais baixo do que as argamassas C100G0PCM20 e C100G0PCM0.

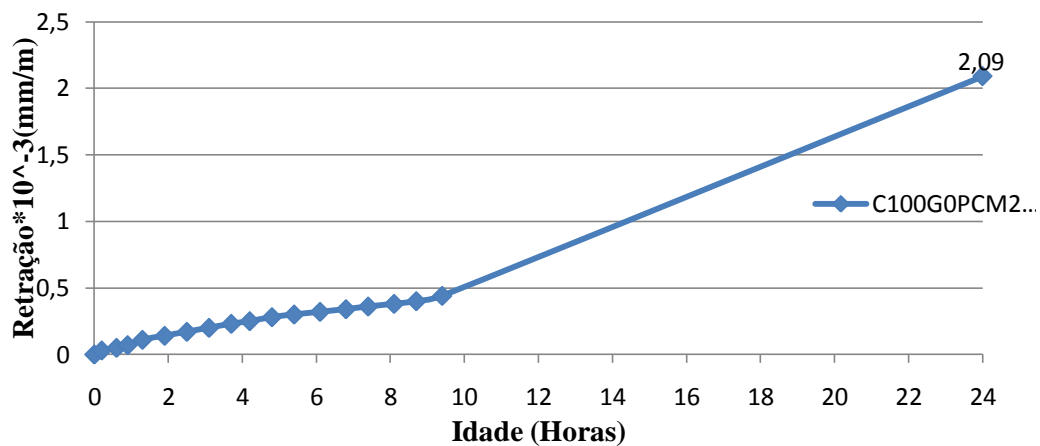


Figura 44 - Ensaio de retração desde a moldagem até às 24 horas da argamassa C100G0PCM20F

O gráfico da figura 45, apresenta a variação da retração da argamassa até aos 7 dias de idade. Nos dois primeiros dias há uma acentuada variação da retração, sendo que a partir do 3º dia os valores de retração começam a estabilizar com o valor máximo ao 7º dia de 5,19 $\mu\text{m}/\text{m}$.

Em comparação com a argamassa de referência aos 7 dias a argamassa C100G0PCM20F tem valor mais baixos de retração, sendo a redução da retração de cerca de 19%.

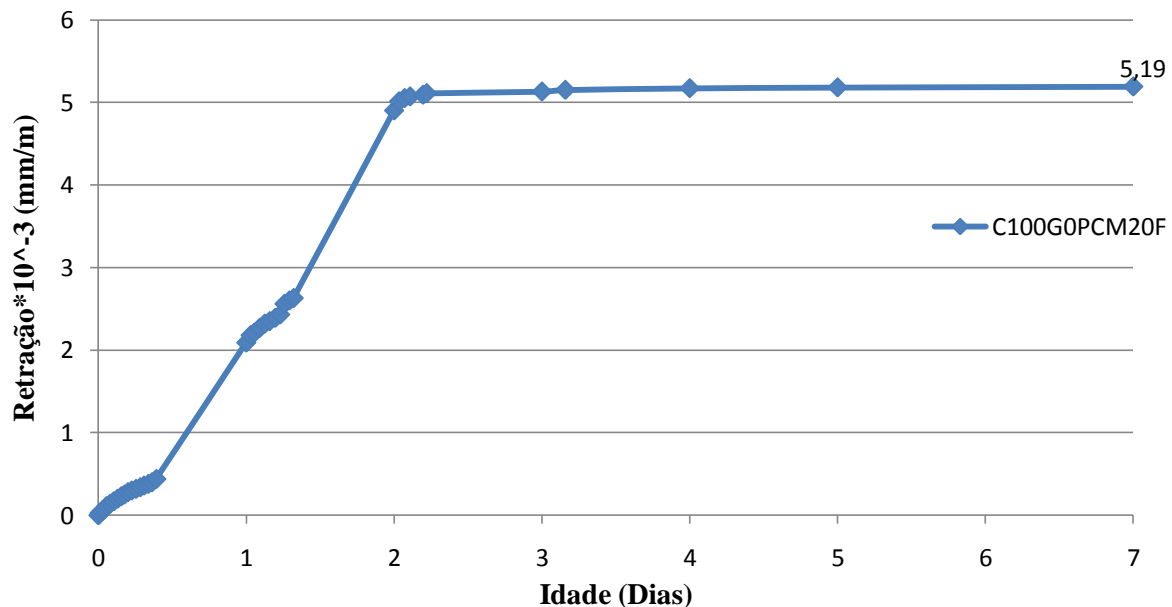


Figura 45 - Ensaio de retração desde a moldagem até aos 7 dias da argamassa C100G0PCM20F

Na Figura 46 é ilustrado o gráfico da variação da retração desde a moldagem até aos 28 dias de idade. A partir do 7º dia a argamassa manteve os valores de retração constante sendo o valor máximo ao 28º dia de 5,72 $\mu\text{m}/\text{m}$. Após a desmoldagem aos 7 dias um provete fissurou, o que levou a que o ensaio no estado endurecido se realizar apenas com dois provetes. A diminuição da retração, com a introdução de fibras deve-se ao facto de estas impedirem os movimentos no interior da argamassa.

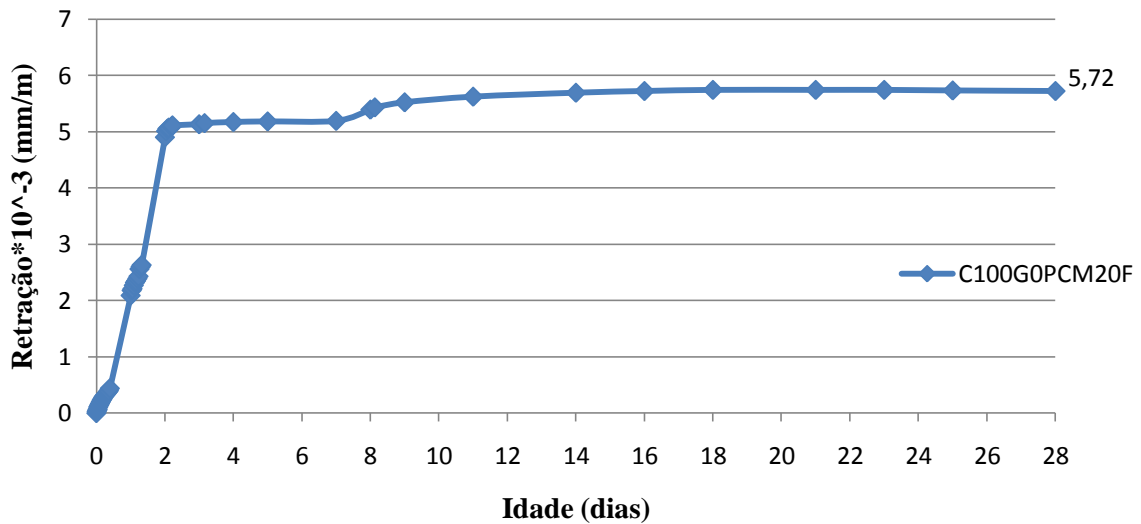


Figura 46 - Ensaio de retração desde a moldagem até aos 28 dias da argamassa C100G0PCM20F

A Figura 47 apresenta a variação da retração nas primeiras 24 horas da argamassa da C80G20PCM20F. Em relação à argamassa de referência há uma diminuição de 37% de retração em comparação com a argamassa C100G0PCM20F uma diminuição de 21%. A adição de gesso melhorou o comportamento da retração nas primeiras horas. O valor máximo ao final das 24 horas foi de 1,66 $\mu\text{m}/\text{m}$, valor que na argamassa de referência é de 2,63 $\mu\text{m}/\text{m}$ e na argamassa C100G0PCM20F é de 2,09 $\mu\text{m}/\text{m}$.

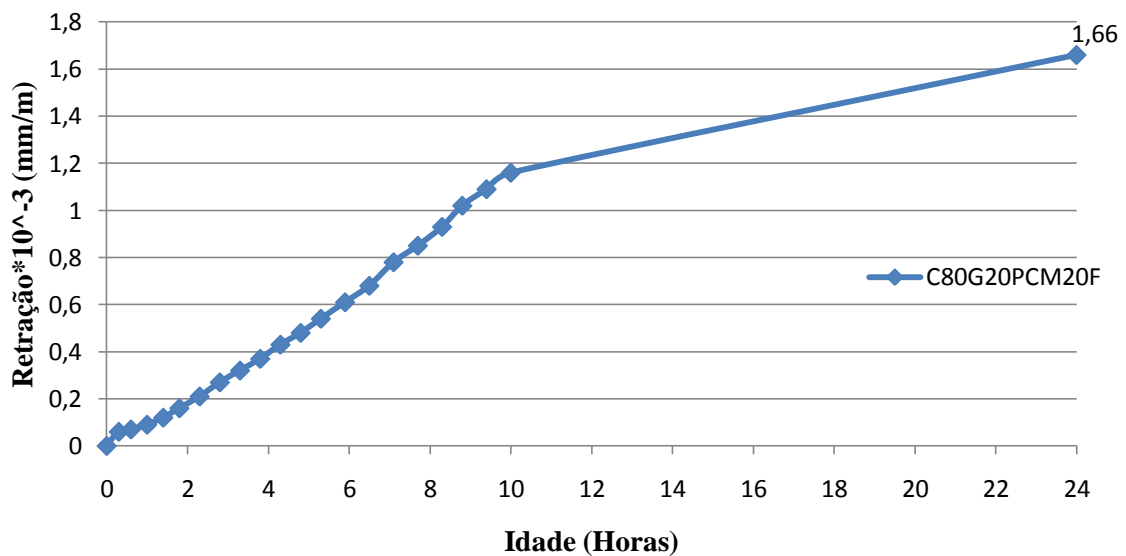


Figura 47 - Ensaio de retração desde a moldagem até às 24 horas da argamassa C80G20PCM20F

Na Figura 48 está representada, a curva da variação da retração da argamassa C80G20PCM20F até aos 7 dias de idade. Após a desmoldagem desta argamassa nenhum dos profetes fissurou. Assim, esta foi a primeira composição a utilizar os três provetes para o ensaio no estado endurecido da argamassa. O valor máximo da retração foi de 8,17 $\mu\text{m}/\text{m}$.

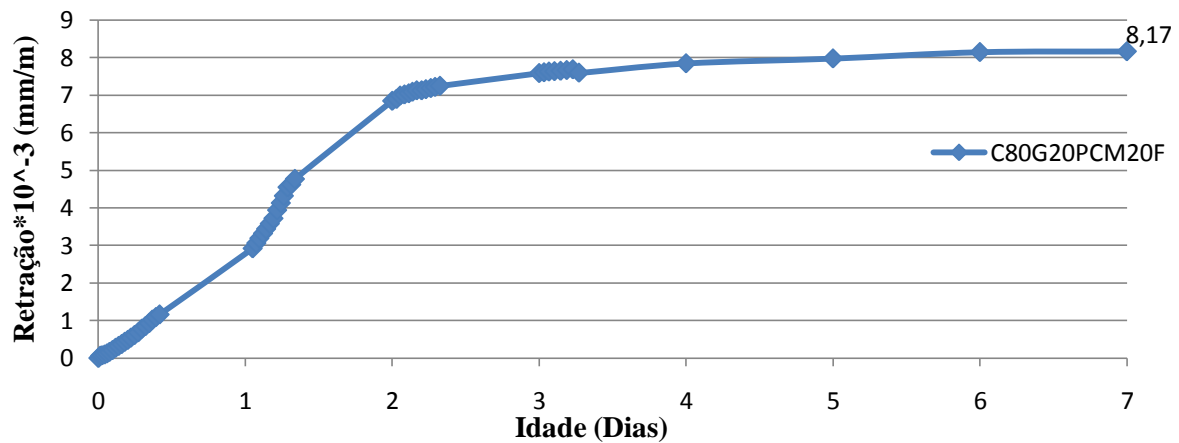


Figura 48 - Ensaio de retração desde moldagem até aos 7 dias da argamassa C80G20PCM20F

A Figura 49 apresenta os valores da retração até aos 28 dias. Nota-se após a desmoldagem aos 7 dias que os valores subiram ligeiramente, esta súbita subida está relacionada com a mudança de equipamento de medição do estado fresco para o estado endurecido.

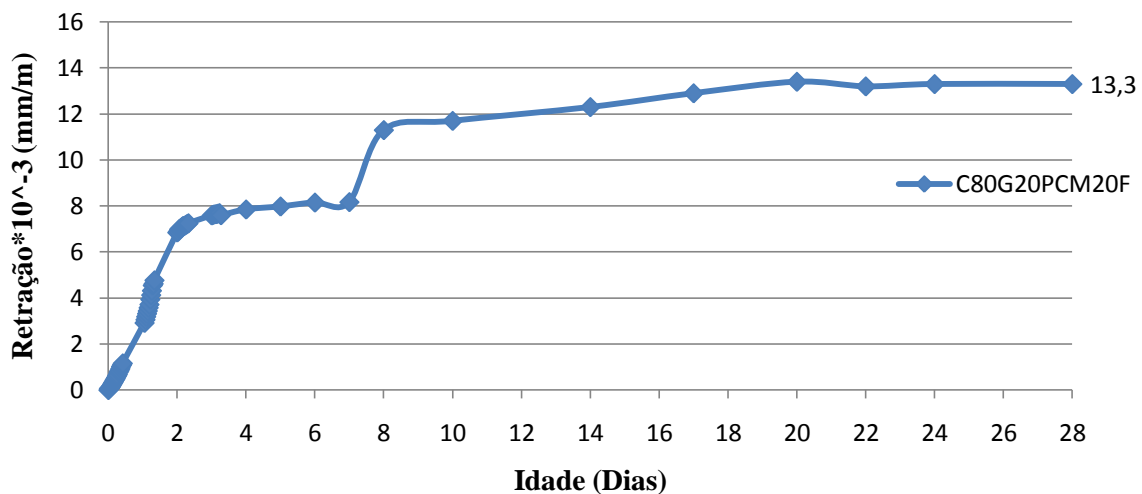


Figura 49 - Ensaio de retração desde a moldagem até aos 28 dias da argamassa C80G20PCM20F

Na Figura 50 observa-se a variação da retração nas 24 horas de idade da argamassa C60G40PCM20F. Esta argamassa é a que possui menor retração de todas as estudadas, nas suas primeiras 24 horas. O valor máximo de retração foi de 1,46 $\mu\text{m}/\text{m}$.

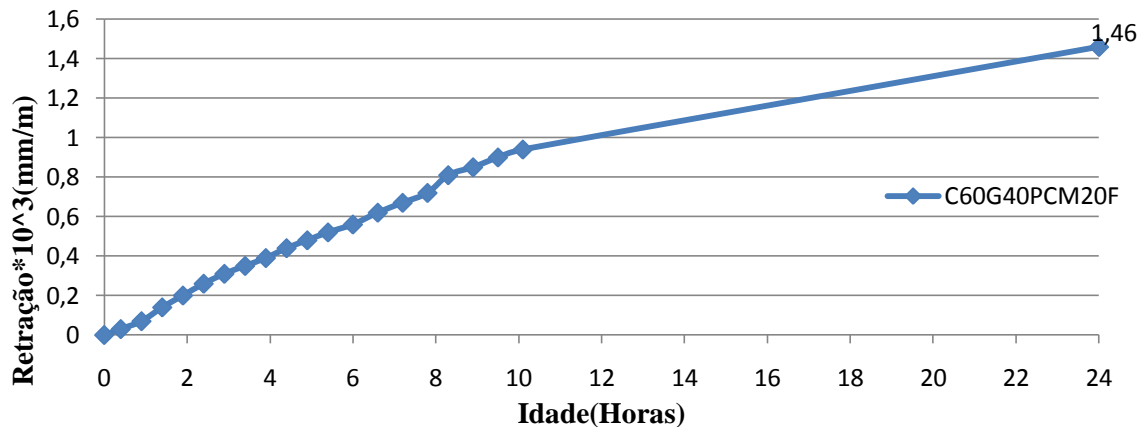


Figura 50 - Ensaio de retração desde a moldagem até às 24 horas da argamassa C60G40PCM20F

A Figura 51 apresenta a curva de variação da retração até aos 7 dias da argamassa C60G40PCM20F. Em comparação com a argamassa C80G20PCM20F com 20% de gesso esta argamassa possui um valor de retração mais pequeno sendo o seu valor máximo de 2,98 $\mu\text{m}/\text{m}$. O que leva a dizer que o gesso provocou uma diminuição da retração.

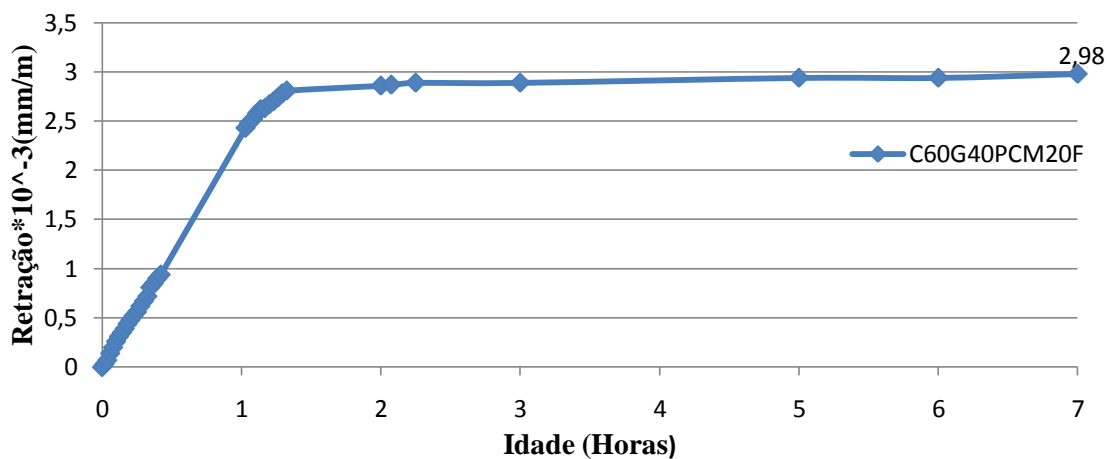


Figura 51 - Ensaio de retração desde a moldagem até aos 7 dias da argamassa C60G40PCM20F

Ao 28º dia a argamassa C60G40PCM20F continua com um valor de retração reduzido em comparação com a argamassa C80G20PCM20F. Pode-se observar na Figura 52 que até ao 14º dia a argamassa ainda apresentava uma variação da retração começando a estabilizar a partir do 16º dia, obtendo-se ao 28º dia o valor de 4,9 $\mu\text{m}/\text{m}$. Assim a argamassa com 40% de gesso apresenta melhor comportamento à retração que a argamassa com 20% de gesso.

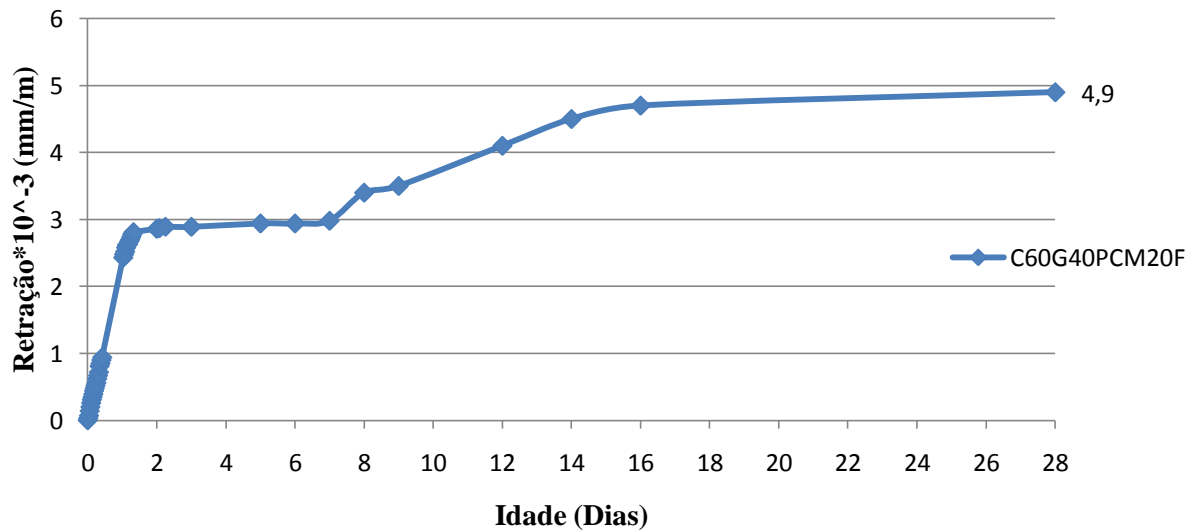


Figura 52 - Ensaio de retração desde a moldagem até aos 28 dias da argamassa C60G40PCM20F

5.5 – Avaliação do ensaio de retração

Da análise dos resultados obtidos no ponto 5.4, verifica-se que em comparação com a argamassa C100G0PCM0 os valores da argamassa C100G0PCM20 aumentam ligeiramente devido à adição do PCM à composição. Por si só o PCM faz aumentar os valores da retração, sendo necessário aquando a sua adição utilizar outros materiais (gesso e fibras) para atenuar a retração.

Com a introdução de fibras o valor de retração tem uma diminuição de cerca de 17% em comparação com a argamassa C100G0PCM0, uma vez que as fibras impedem os movimentos no interior da argamassa.

Com 20% de PCM e com a introdução de 20% de gesso os valores da retração diminuem nas primeiras 24 horas em relação à argamassa sem PCM. Com a mesma percentagem de PCM mas com 40% de gesso a argamassa possui uma ótima variação da retração em comparação com a argamassa C100G0PCM0, a diminuição da retração está na ordem dos 64%.

5.6 – Análise da influência do tipo de PCM utilizado

No geral a argamassa com este PCM, cujo nome comercial é Mikratherm D24, possui menores valores de retração do que o PCM utilizado em trabalhos anteriores desenvolvidos.

As argamassas fabricadas com o PCM Mikratherm D24, necessitam de uma menor quantidade de água que as argamassas anteriormente estudadas, sendo a quantidade a necessária para obter uma trabalhabilidade compreendida entre 160 e 180 mm.

A incorporação de 20% de PCM desta argamassa comparada com 20% de PCM das argamassas já estudadas noutros trabalhos, provoca uma diminuição da retração cerca de 70%, valor que pode ser justificado com a diminuição da quantidade de água.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

6.1 - Conclusão

A utilização de materiais de mudança de fase (PCM's), em argamassas de revestimento pode ser uma mais valia para o sector da construção, uma vez que estas argamassas contribuem para um ambiente mais sustentável a nível energético, diminuindo o uso de equipamentos de climatização e, consequentemente, reduzem o consumo de energia do edifício. O PCM confere de um modo simples o controlo do consumo de energia no edifício, armazenando energia quando o material de mudança de fase passa do estado

sólido para o estado líquido e, posteriormente, libertando-a quando passa do estado líquido a sólido, contribuindo assim para a manutenção.

Em comparação com estudos anteriores, a perda de massa com a introdução do PCM estudado, teve uma redução gradual, uma vez que este tipo de PCM necessitava de uma menor quantidade de água. Para que houvesse um controlo rigoroso nos ensaios dos provetes estes foram acondicionados numa sala onde a temperatura estava compreendida entre 22,5°C e 25,5°C, sendo a humidade relativa de 64%.

Os valores das resistências mecânicas comparativamente com o trabalho já estudado com outro tipo de PCM foram mais reduzidos. Tal aspeto está relacionado com o facto de o novo PCM não necessitar de tanta quantidade de água para uma trabalhabilidade compreendida entre 160mm – 180mm. Uma vez que a quantidade de água é reduzida o número de poros presentes na argamassa também é reduzido o que dificulta a penetração do dióxido de carbono e, consequentemente, conduz a valores das resistências mecânicas mais baixos.

O PCM, por si só, não facilita no controlo da retração, pelo contrário. Deste modo foi necessário preparar argamassas com a introdução de gesso e fibras para que o problema de fissuração fosse atenuado. Com a introdução de fibras conseguiu-se baixar um pouco o valor de retração, uma vez que as fibras diminuem as deformações no interior da argamassa. Em todas as composições ensaiadas, foi nas primeiras 24 horas que a retração teve uma maior variação, a partir do 3º, 4º dia este valor tenderia a manter-se constante até ao 7º dia em que era realizada a desmoldagem e mantendo-se o registo do comportamento da retração até aos 28 dias. De entre as 5 composições estudadas para o ensaio de retração, a argamassa com incorporação 20% de PCM, 40% de Gesso e 60% de Cal, mostrou-se ser a mais interessante nos valores de baixa retração. As argamassas com este novo PCM obtiveram valores de retração mais baixos que os do trabalho anterior referido.

Com a introdução das fibras de poliamida e gesso conseguiu-se diminuir a retração nas primeiras horas, quando a argamassa não possui resistência mecânica para absorver os esforços originados durante este processo, causando a fendilhação nesta fase.

Com os ensaios efetuados, verifica-se que as argamassas com a introdução de PCM pode ser uma solução aceitável para as empresas de construção garantindo um futuro mais sustentável e económico.

6.2 – Trabalhos futuros

Para um melhor conhecimento do comportamento deste tipo de argamassas, poderia ser interessante estudar outro tipo de ligante e outros ensaios tais como, ensaio de carbonatação.

Devido ao facto de o controlo da retração ser um ensaio muito minucioso, encontrar um método onde os valores de retração pudessem ser registados, sem a necessidade de entrar na sala onde o ensaio está a decorrer para não haver uma grande variação da temperatura e da humidade relativa.

No estado fresco do ensaio de retração, para evitar a fissuração dos provetes, nomeadamente nos dois primeiros dias após a sua moldagem, usar um material isolante em torno de todo molde ou outro método de modo que no final da desmoldagem tivéssemos todos os provetes intactos.

Ao longo do ensaio de retração, poderá ser necessário fazer outros ensaios, como o da velocidade da carbonatação, uma vez que a retração global está relacionada com a retração de carbonatação.

Preparar argamassas com outros tipos de ligantes ou mistura de mais de que um ligante para obter argamassas de baixa retração. Em vez de ligantes aéreos utilizar ligantes hidráulicos, por exemplo o cimento e fazer conjugações de ligantes de modo a obter aquela em que a retração seja a menor possível.

A retração é maior nas primeiras horas da argamassa, período em que as fibras vão diminuir a retração, uma solução poderá passar por utilizar uma maior percentagem de fibras e analisar o comportamento com esta alteração.

CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J.L.M.S.L. – **Argamassas Tradicionais de Industriais de Alvenaria em Edifícios**. Porto: Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Dissertação de Mestrado, 2010.

APFAC (Associação Portuguesa de Fabrico de Argamassas): **Argamassas Fabris: Produção, Famílias, Normas**. Associação Industrial Portuguesa, Auditório COPRAL, Lisboa – 2007.

BASTOS, P.K.X. – **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2001. Tese de Doutoramento.

BASTOS P.K.X., Nakakura E.H., Cincotto M.A.; **Ensaio de Retração de Argamassas nos Estados Fresco e Endurecido – Contribuição para a normalização brasileira**.

BASTOS P.K.X., Détriché C.H., Balayssac J.P, Cincoto M.A.; **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas em argamassas de revestimento**, 2001. pp.58- 60.

COSTA, L.L. – **Uso de Argamassas Tradicionais e Pré- Doseadas para Impermeabilização em Revestimentos Exteriores**. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2008. Dissertação de Mestrado.

COUTINHO, João Araújo Pereira. **Materiais de mudança de fase para isolamento térmico e armazenamento de energia**. Aveiro, 2006: Universidade de Aveiro.

DUBAJ, E.- **Estudo Comparativo Entre Traços de Argamassa de Revestimento Utilizados em Porto Alegre**. Porto Alegre: Universidade federal do Rio Grande do Sul, 2000. Tese de Mestrado.

EMO, Dicionário Técnico, European Mortar Industry Organization, 3rd Edition, 2001.

ESTRELA, S.I.T.H.F. – **Argamassas Tradicionais de Revestimento de Paredes: Fendilhação e sua Reparação.** Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2008. Tese de Mestrado.

FÉLIX, M.U.M. – **Utilização de revestimentos com PCM para melhoria do desempenho térmico das construções.** Guimarães: Universidade do Minho, 2009. Tese de Mestrado

GOMES, A.O. – **Propriedades das Argamassas de Revestimento de Fachadas.** Comunidade da Construção, 2008. Salvador.

JALALI, S.; TORGAL, F.P.: **A sustentabilidade dos Materiais de Construção,** TecMinho, 2010.

MARTINS, A.M.M. – **Estudo da influência da dosagem de cimento no desempenho de argamassas de reboco.** Lisboa: Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa, 2008. Dissertação de Mestrado.

MARTINS, J.G.; ASSUNÇÃO, J.S. – **Argamassas e Rebocos,** 3^a edição, 2010.

MENDONÇA, B.V. – **Estudo do Desempenho das Argamassas Hidráulicas Influência do ligante.** Lisboa: Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa, 2007. Dissertação de Mestrado.

MORTON, W.E. – **Physical Properties of Textile Fiber.** Student Edition. The Textile Institute Manchester, 1986.

NUNES, J.M.S. – **Avaliação de Medidas para Mitigar a Retração no Betão.** Guimarães: Universidade o Minho, 2010. Tese de Mestrado.

PAULO, R.S.V.M.N. – **Caracterização de Argamassas Industriais.** Aveiro: Universidade de Aveiro, 2006. Dissertação de Mestrado.

PAIVA, H.M.C. – **Caracterização Reológica de Argamassas**. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2005. Tese de Mestrado.

PENAS, F.E. – **Argamassas de Cal Hidráulica para Revestimentos de Paredes**. Lisboa: Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa, 2008. Dissertação de Mestrado.

PEREIRA, T.A.R. – **Otimização das Características de Humedecimento e secagem de Argamassas**. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2008. Tese de Mestrado.

RODRIGUES, D.A – **Influência dos Métodos de Ensaio nas Características de Argamassas de Cal Aérea e Hidráulica**. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2010. Dissertação de Mestrado.

RODRIGUES, M.P.S.F.F. – **Argamassas de Revestimento para Alvenarias antigas**. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2004. Tese de Mestrado.

SILVA, N.T.D.F. – **Incorporação de Materiais de Mudança de Fase em Materiais de Construção**. Guimarães: Universidade do Minho, 2009. Tese de Mestrado.

Seminários Web PINI: <http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/fibras-85362-1.asp>, consultado em 15/05/2012

TIAGO, J.C.D. – **Argamassas de cal aérea com incorporação de cinzas de casca de arroz**. Lisboa: Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa, 2011. Dissertação de Mestrado.

VALENTE, V.M.M. – **Caracterização da Aderência de Argamassas Tradicionais em Parâmetros Exteriores Constituídos por Blocos de Betão de Argila Expandida**. Porto: Universidade do Porto, 1996. Tese de Mestrado.

VEIGA, M.R.S. – **Comportamento de Argamassas de Revestimento de Paredes. Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1998. Tese de Doutoramento.

Anexos

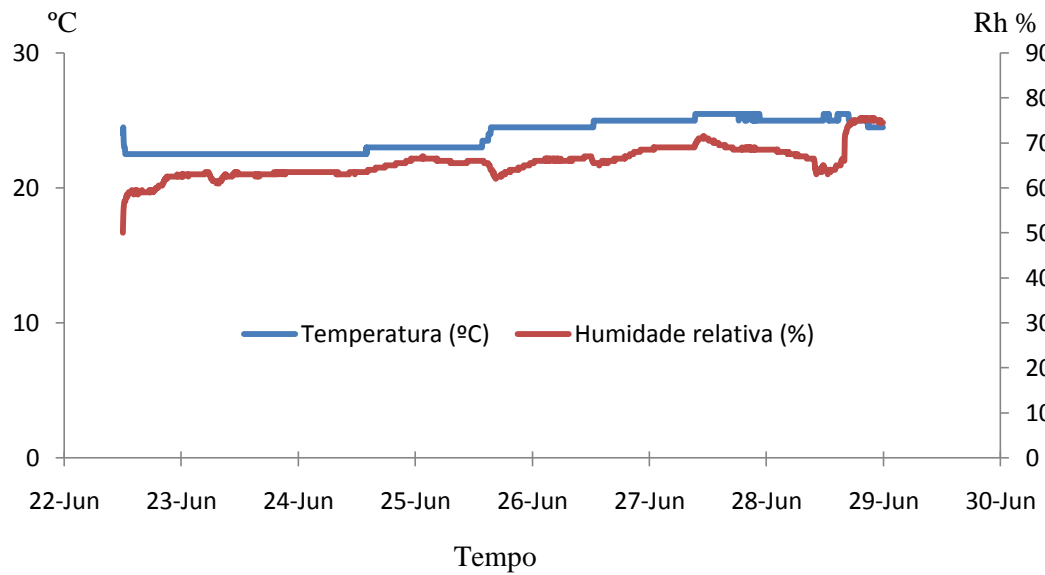


Figura I. 1 - Controle da temperatura e umidade relativa da composição 2

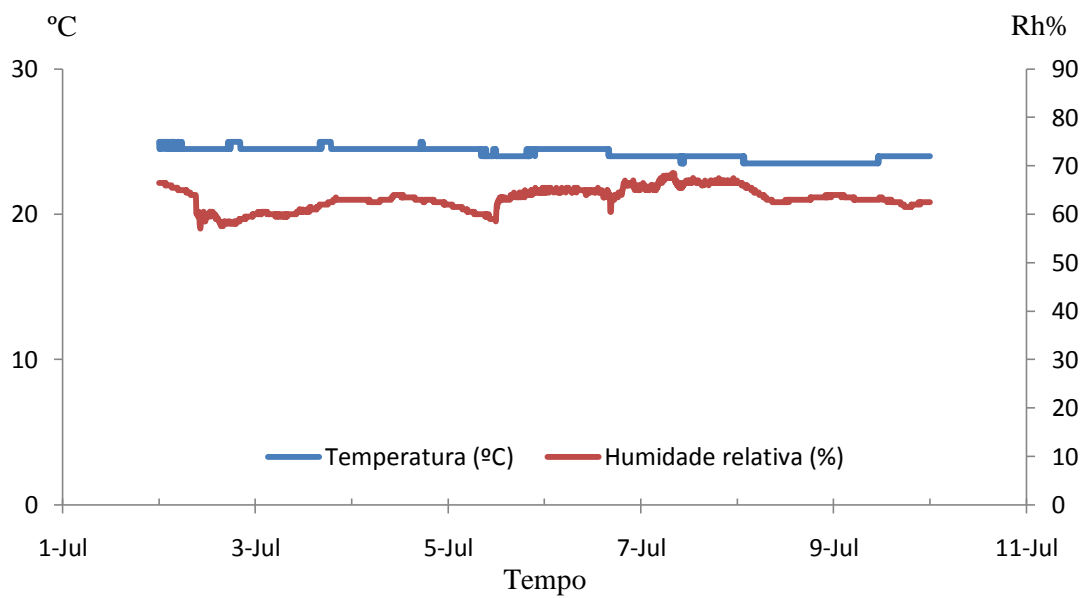


Figura I. 2 - Controle da temperatura e umidade relativa da composição 3

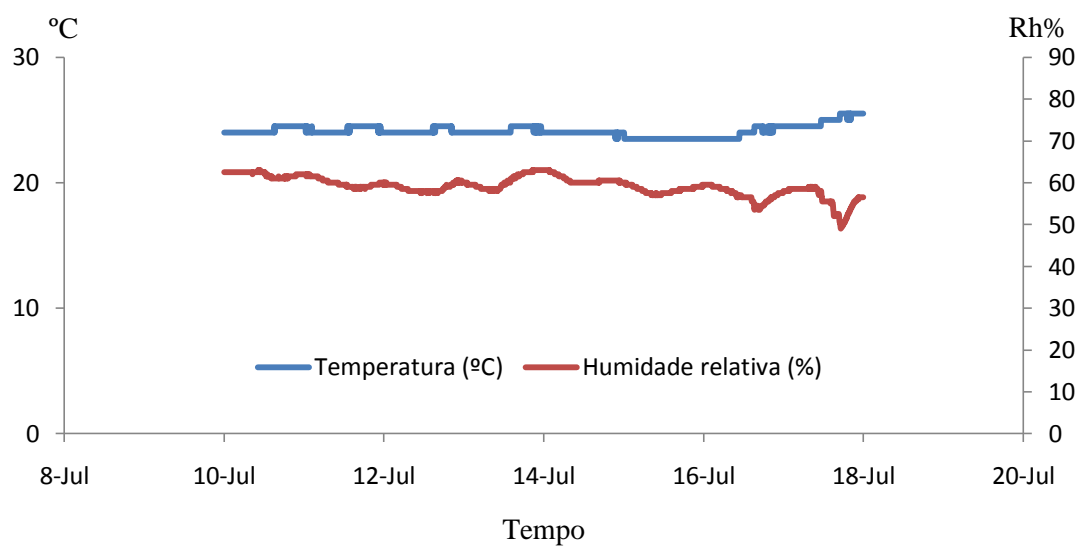


Figura I. 3 - Controle da temperatura e umidade relativa da composição 8

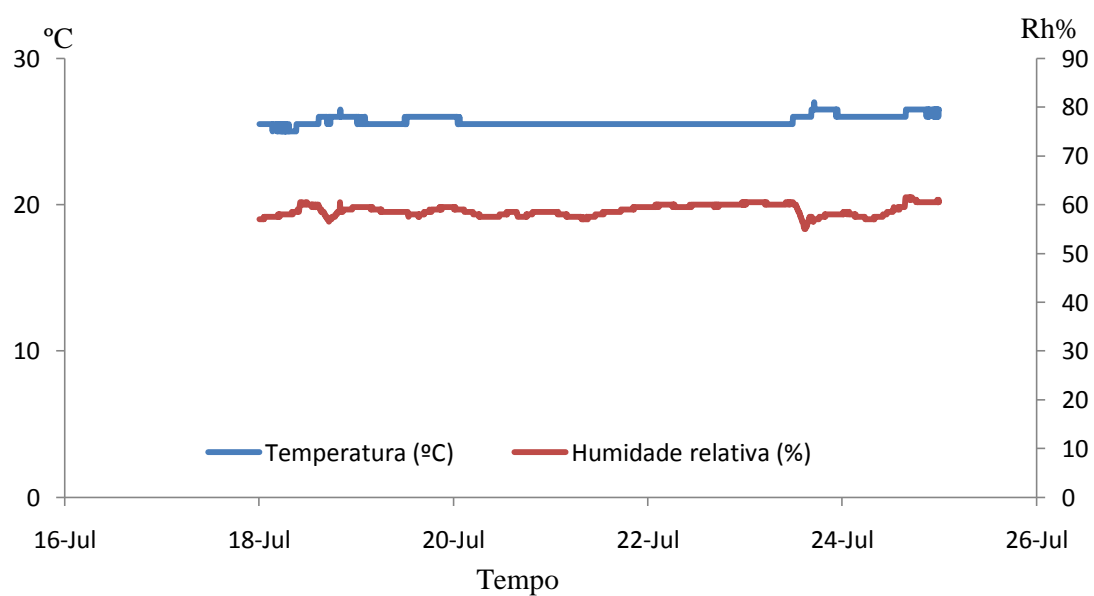


Figura I. 4 - Controle da temperatura e umidade relativa da composição 9